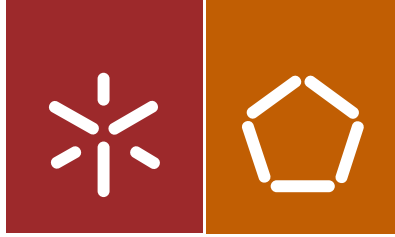




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Levi da Silva Guimarães

Desenvolvimento de um modelo de análise,
diagnóstico e representação visual de
unidades produtivas



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Levi da Silva Guimarães

Desenvolvimento de um modelo de análise,
diagnóstico e representação visual de
unidades produtivas

Tese de Doutoramento
Programa Doutoral em Engenharia Industrial e Sistemas

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Dinis Araújo Carvalho

julho de 2017

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 11 de JULHO de 2017

Nome completo: Levi da Silva Guimarães

Assinatura:

Levi da Silva Guimarães

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter-me dado saúde, força de vontade e sabedoria para ter enfrentado todos os obstáculos e chegar até aqui, nesta nova fase acadêmica.

Prof. Doutor José Dinis Araujo Carvalho, pelas orientações, ensinamentos e principalmente pela paciência em esclarecer minhas dúvidas durante a execução deste trabalho.

Ao casal Tânia e Victor Reis que me acolheram como um filho em Portugal e me deram todo o suporte necessário durante o meu doutoramento.

A prof. Cintya Colares que me ajudou bastante durante todo meu doutoramento, sendo meu suporte direto no Brasil.

Prof. José Carlos Reston Filho, pelos feedbacks e incentivos para continuar minha jornada acadêmica e não parar por aqui.

A minha Mãe Joana Darc Guimarães, que sempre me apoiou nas minhas escolhas e decisões, me incentivando a alcançar meus objetivos.

Meus Irmãos Josimar e Nelly Guimarães, pelo carinho, companheirismo e amizade.

E a todos meu amigos e colegas do Brasil e de Portugal que direta ou indiretamente, contribuíram para a escrita desta tese.

RESUMO

Na engenharia industrial atualmente é possível encontrar diversas ferramentas de representação visual, análise e diagnóstico de unidades produtivas, mas a grande maioria não consegue atender de maneira eficaz a necessidade do analista ou decisor. O modelo *Waste Identification Diagram* (WID), que tem vindo a ser desenvolvido na Universidade do Minho pelo Departamento de Produção e Sistemas, tem como objetivo representar unidades de produção com grande eficácia e simplicidade.

O propósito deste trabalho é desenvolver mais funcionalidades no modelo WID existente para melhor responder às necessidades da indústria. Num processo de interação com as necessidades identificadas numa empresa do ramo da eletrónica ficou clara a necessidade de incluir informação visual em equipamentos cuja utilização é crítica, ou seja, equipamentos cujo indicador de eficácia operacional (OEE) é monitorizado pela gestão. Nestes casos o modelo WID existente não conseguia representar essa informação tão importante para o analista. A partir desta necessidade surgiu o WID/OEE.

Como metodologia, esta tese classifica-se como uma investigação ação, que utilizou métodos mistos e com estudo transversal em relação ao horizonte temporal. O WID/OEE foi desenvolvido e aplicado numa empresa de semicondutores do Norte de Portugal, foi posteriormente comparado com o *Value Stream Mapping* (VSM) para medir a sua eficácia com relação ao tempo resposta da interpretação da informação e por fim aplicado em cinco empresas de diferentes seguimentos do Polo Industrial de Manaus para medir sua eficácia e impacto nas empresas através de opinião dos gestores.

Pôde-se concluir que o WID/OEE contribuiu para uma rápida detecção de processos críticos, *layouts* inadequados e a identificação da maioria das formas de desperdícios, bem como os seus valores e os dados do OEE ajudaram na detecção de possíveis soluções para aumentar a capacidade no processo. Estes diagramas comprovaram que são muito eficazes na representação e diagnóstico das unidades produtivas, mostrando a maioria das formas de desperdícios para ir em busca da melhoria contínua.

Palavras-Chave: Lean, WID, OEE, Desperdícios, VSM

ABSTRACT

Nowadays in industrial engineering it is possible to find several visual representation, analysis and diagnosis tools of facilities, but the ample majority can not meet effectively the needs of the analyst or the manager. The model Waste Identification Diagram (WID), which has been developed at the Department of Production and Systems in the University of Minho, aims to represent production units with high efficiency and simplicity.

The purpose of this work is to develop more functionality into the existent WID model, aiming to better reply the industry needs. In a process of interaction with the needs identified in an industrial electronic manufacturer, it was clear the need of inclusion of visual information in equipments that the use is critical, i.e. equipments with operational efficiency indicator (OEE) which are monitored by management. In these cases the existent WID model was unusefull to represent this knowledge so important to the analyst. From this requirement, rised the WID / OEE.

As a methodology, this thesis is classified as an action research, which used mixed methods and cross-sectional study in relation to the time horizon. The WID / OEE was developed and applied in a semiconductor company in northern Portugal, and subsequently compared with the VSM to measure their effectiveness with respect to the response time of the interpretation of the information. Finally, it was applied in five companies from different segments of the Industrial Pole of Manaus to measure their effectiveness and the impact through the view of business managers.

It was concluded that the WID / OEE contributed to a rapid detection of critical processes, inadequate layouts and in the identification of the most forms of waste. Likewise, the obtained data values and OEE helped in the detection of possible solutions to increase capacity in the process. These diagrams have proven that they are very effective in representing and diagnosis the production units, showing the most forms of waste to highlight in the search of continuous improvement.

KEYWORDS: Lean, WID, OEE, Wastes, VSM

ÍNDICE

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	x
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia.....	5
1.4 Estrutura da Tese	7
2. Revisão da Literatura	9
2.1 Pensamento <i>Lean</i>	9
2.2 Ferramentas existentes para representação de unidades produtivas	19
3. <i>Waste Identification Diagram</i> (WID)	41
3.1 O WID Básico	41
3.2 <i>Waste Identification Diagrams com OEE</i> (WID/OEE).....	53
3.3 Desenvolvimento do WID/OEE	57
3.4 Outras formas de representação do WID/OEE.....	70
4. Comparação entre o VSM e o WID/OEE	73
5. Aplicação do WID/OEE noutras empresas.....	85
5.1 Empresa A	86
5.2 Empresa B.....	89
5.3 Empresa C.....	91
5.4 Empresa D	94
5.5 Empresa E.....	96
5.6 Avaliação da Eficácia do WID/OEE	98
6. Discussão dos resultados.....	107
6.1 Resultados da inclusão do OEE no WID.....	107

6.2	Resultados da comparação do VSM e o WID/OEE	108
6.3	Resultados da avaliação de eficácia do WID/OEE.....	109
7.	Conclusões e Trabalhos Futuros	111
	Bibliografia.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - The research onion	5
Figura 2 - Espiral de investigação-ação	6
Figura 3 - Flow process chart	20
Figura 4 – Mapofluxograma.....	21
Figura 5 – Diagrama de espaguete	22
Figura 6 – Modelo de Hicks	24
Figura 7 – Mapa de processos	25
Figura 8 – Matriz de resposta da cadeia de suprimentos.....	26
Figura 9 – Funil da variedade de produção	28
Figura 10 – Mapeamento do filtro da qualidade	29
Figura 11 – Mapeamento da amplificação da demanda	30
Figura 12 – Ponto de análise de decisão	31
Figura 13 – Mapeamento da estrutura física	32
Figura 14 – VSM.....	34
Figura 15 – WID	43
Figura 16 - Utilização da Mão-de-obra	48
Figura 17 - WID Fabricante de Portas de Elevador	48
Figura 18 - Vertentes dos tempos de produção	54
Figura 19 - Primeiro modelo WID/OEE	60
Figura 20 - Segundo modelo WID/OEE	61
Figura 21 - Modelo final WID/OEE	62
Figura 22 - Lista de Atividades	65
Figura 23 - Definição de Percurso.....	65
Figura 24 - WID/OEE LBS	67
Figura 25 - VSM integrado com WID/OEE.....	71
Figura 26 – WID/OEE Tamanho do lote	72
Figura 27 - VSM utilizado na experiência	74
Figura 28 - WID/OEE Utilizado na experiência	75
Figura 29 - Percentual de Respostas Corretas	78
Figura 30 - Tempo de resposta WID e VSM	80
Figura 31- Distribuição das Respostas do WID/OEE	82

Figura 32 - WID/OEE Empresa A	87
Figura 33 – WID/OEE Empresa B	89
Figura 34 - WID/OEE Empresa C.....	92
Figura 35 - WID/OEE Empresa D	94
Figura 36 - WID/OEE Empresa E.....	96
Figura 37 - Distribuição geral de respostas por questão	101
Figura 38 - Box plot da 1º parte do questionário	101
Figura 39 - <i>Boxplot</i> da 2ª parte do questionário	102
Figura 40 – Mean rank da 1º parte do questionário por empresa (Δ A; o B; C; D; *E).....	103
Figura 41 - Mean ranks da 2º parte do questionário por empresa (Δ A; o B; C; D; *E) ...	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Avaliação das ferramentas.....	39
Tabela 2 - Exemplo de ficha usada para amostragem de trabalho	46
Tabela 3 - Dados para construção do WID/OEE	64
Tabela 4 - Comparação entre as 3 ferramentas	71
Tabela 5 - Percentual de acertos por ferramenta e por categoria	79
Tabela 6 - Eficácia global WID e VSM	81

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

IMVP – International Motor Vehicle Program
IVSM – Improved Value Stream Mapping
MIT – Massachusetts Institute of Technology
OEE – Overall Equipment Effectiveness
TOC – Theory of Constraints
TPS – Toyota Production System
TVSM – Transportation Value Stream Mapping
VNM – Value Network Mapping
VSM – Value Stream Mapping
VSMSx – Value Stream Mapping using Extend Sim
WID – Waste Identification Diagram
WIP – Work in Process

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Com a transição dos mercados locais a globais, a exigência de competitividade nas empresas passou a ser cada vez maior, e essa competitividade traduz-se numa necessidade de uma melhoria constante da eficiência nos processos internos (Chitturi *et al.*, 2007). Torna-se então indispensável sistemas de produção que consigam atender estas exigências dos mercados atuais, conseguindo assim a capacidade de sustentar sua atividade ao longo do tempo, garantindo permanecer e prosperar no mercado.

Segundo Eckes (2001) as ineficiências operacionais já não são mais absorvidas pelos clientes, pois as opções de oferta aumentaram proporcionadas pela queda das barreiras alfandegárias e a conseqüente abertura de mercado. Sendo assim a implementação de novos e eficientes sistemas de gestão, tanto no segmento industrial como no de serviços, quer nas pequenas, médias ou grandes organizações, é uma exigência imposta pelo mercado.

De acordo com Paranhos (2007), a melhor maneira de aumentar a produtividade e reduzir os custos é eliminando os desperdícios. A cultura de combate ao desperdício otimiza várias formas de recursos, como: de material, de energia, de produção incorreta, de degeneração dos equipamentos e mesmo de horas de trabalho. O desperdício é uma palavra sempre presente nos estudos sobre a indústria. A ideia de desperdícios como problema de fábrica tem atravessado os tempos, desde Henry Ford até os dias de hoje.

A abordagem definida pela Toyota como sendo o *Toyota Production System* (TPS), corresponde a uma produção mais eficiente, flexível, ágil e inovadora do que a produção em massa. Trata-se de uma abordagem à produção bastante adequada para encarar um mercado em permanente mudança. O TPS surgiu na década de 50 por meio de estudos feitos por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno da Toyota. No final dos anos 80, os pesquisadores do *International Motor Vehicle Program* (IMVP) que era um programa de pesquisas ligado ao *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), criaram o termo *lean manufacturing* para designar a forma como o TPS abordava a produção. O *Lean manufacturing*. Tal como o TPS, busca identificar e eliminar sistematicamente desperdícios na cadeia produtiva, sendo desperdício definido como qualquer atividade que absorve recursos e não cria valor (Womack *et al.*, 2004).

Ohno (1988) e Liker (2005) definem os desperdícios em sete categorias, que se referem a recursos normalmente desperdiçados:

- **Transporte** (*Transport*) - Transportar materiais, peças ou produtos acabados para dentro ou fora do armazém ou entre processos;
- **Inventário** (*Inventory*) - Materiais em espera, quer sejam matérias-primas, em curso de fabrico ou produtos acabados, causam aumento dos prazos de entrega, obsolescência, mercadorias danificadas, e custos com transporte e armazenamento. Além disso, o inventário extra esconde problemas como perdas de produção, atrasos nas entregas dos fornecedores, defeitos e quebra de equipamentos;
- **Movimentações** (*Movement*) - Qualquer desperdício com movimentação que o trabalhador tenha que executar durante sua jornada de trabalho, caminhando para um equipamento, em busca de algo, à procura de algo ou empilhando peças, ferramentas etc. é um desperdício;
- **Espera** (*Waiting*) - Trabalhadores servindo apenas para assistir uma máquina automática, ou ficar à espera de uma próxima etapa do processo, ferramenta, fornecedor etc, ou simplesmente não ter nenhum trabalho por causa de falta de estoques, atrasos de processos, quebras de equipamento ou gargalos;
- **Sobreprodução** (*Overproduction*) - Produzir mais que o requerido pelo processo seguinte ou produzir antes do momento requerido; produzir a um ritmo superior ao necessário. O que gera excesso de pessoal e custos de armazenamento e transporte por causa do excesso de estoque;
- **Processamento incorreto ou desnecessário** (*Overprocessing*) - Tomar medidas desnecessárias para processar as peças. Processo ineficiente devido a uma ferramenta ruim e design do produto, causando movimento desnecessário e produzindo defeitos. Este desperdício também é gerado quando são fornecidos produtos com maior qualidade do que o necessário;
- **Defeitos** (*Defects*) - Produzir peças defeituosas. Correção, reparo, retrabalho, refugo, produção de substituição e inspeção significam desperdício de manuseio, tempo e esforço.

Apesar de não trazerem valor acrescentado ao produto/serviço estes desperdícios de uma forma ou de outra, são pagos pela empresa representando um custo interno sem qualquer retorno financeiro. O conhecimento sobre o *gamba* (espaço fabril) é crucial para a

identificação dos desperdícios. Locais com inventários elevados não são difíceis de detectar, mas, provavelmente este inventário é uma consequência de outros desperdícios escondidos. Assim, a importância de ferramentas de representação especificamente projetadas para identificar desperdícios dentro de um sistema de manufatura parece ser evidente (Sá, Carvalho e Sousa, 2011).

Diversas ferramentas gráficas estão disponíveis para auxiliar o analista no processo de representação, análise e diagnóstico de unidades de produção, mas elas geralmente são dedicadas a aspectos específicos das unidades de produção. Algumas ferramentas têm como foco principal a representação de *layout* de produção e as rotas, outras se destinam a representar movimentos do trabalhador, enquanto outras estão apenas focadas no fluxo de produção de determinados produtos ou famílias de produtos específicos (Dinis-Carvalho et al, 2014). Dentre elas podemos citar o *Flow Process Chart* (ASME,1947), *Flow Chart Map* (Barnes, 1968), *Spaghetti Diagram* (Neuman and Medbo, 2010), *Model of Supply Chain and Waste* (Hicks et al, 2004), *Process Activity Mapping* (Barnes, 1968), *Supply Chain Response Matrix* (New, 1993), *Production Variety Funnel* (New, 1974), *Quality Filter Mapping* (Hines and Rich, 1997), *Demand Amplification Mapping* (Forrester, 1958), *Decision Point Analysis* (Hoekstra and Romme, 1992), *Physical Structure* (Miles, 1961) e o *Value Stream Mapping* (Rother and Shook, 2003).

Neste contexto, para superar algumas das limitações das ferramentas anteriormente descritas e principalmente para explorar um mecanismo visual diferente, esta tese de doutoramento pretende responder à seguinte questão de investigação:

- É possível criar um modelo de representação visual de unidades produtivas, que consiga ser reconhecido pelos profissionais da área como sendo capaz de diagnosticar e avaliar de forma eficaz os principais problemas e desperdícios, estabelecendo estados futuros?

Tendo em vista o exposto, propõe-se uma contribuição no desenvolvimento de um modelo de análise, diagnóstico e representação visual de unidades produtivas capaz de transmitir com eficácia os aspectos mais importantes da produção, tais como fluxos, inventários, desperdícios, tempo *takt*, tempos da estação, paragens planeadas e não planeadas, perdas com velocidade, perdas com qualidade, etc. O modelo a ser desenvolvido auxiliará os gestores de produção a tornar os processos mais simples, processos *lean*, com menos desperdícios e com o foco em produzir valor ao cliente. A ideia deste modelo proposto também é melhorar a

comunicação entre profissionais de engenharia industrial, padronizando a forma de representação das unidades produtivas, ao invés de utilizar múltiplos diagramas como fluxogramas, *layouts*, etc.

Os resultados deste modelo mostrarão os desperdícios existentes no processo produtivo e o impacto de cada um deles. Abrindo a oportunidade de eleger as ferramentas *lean* adequadas para o tratamento dessas ineficiências e para melhoria do processo, de forma a reduzi-los ou até mesmo eliminá-los, resultando no aumento da competitividade da empresa dentro do seu segmento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Esta tese tem como objetivo geral contribuir para o desenvolvimento de um modelo de análise, diagnóstico e representação visual de unidades produtivas com ênfase nos desperdícios e no desempenho. Este modelo será integrado com os parâmetros do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), permitindo a visualização das paragens planeadas, paragens não planeadas, perdas de velocidade e qualidade em cada estação de trabalho.

A base para o desenvolvimento desta proposta é uma ferramenta enquadrada nos princípios da produção *lean* sendo denominada por *Waste Identification Diagrams* (WID), que tem vindo a ser desenvolvida no Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho. Este tipo de diagrama deverá também ser usado como representação dos estados atuais e futuros, à luz dos princípios da melhoria contínua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os principais indicadores de desempenho a serem utilizados no modelo a ser desenvolvido;
- Adaptar técnicas de identificação e avaliação de desperdícios associados à mão-de-obra para associar aos diagramas;
- Desenvolver técnicas de identificação e avaliação de desperdícios associados aos fluxos de materiais;
- Desenvolver formas de representação visuais de desperdícios que facilitem a comunicação com gestores, operadores, fornecedores e clientes;
- Desenvolver e aplicar o modelo numa fábrica em Portugal;

- Testar e validar a ferramenta comparando-a com ferramentas existentes, nomeadamente as aplicadas na empresa em questão, recolhendo as opiniões dos gestores e outros colaboradores;
- Realizar divulgações e publicações dos resultados obtidos nas pesquisas em congressos e possíveis revistas científicas do referido segmento em níveis nacionais e internacionais;
- Testar e adaptar o modelo desenvolvido em empresas brasileiras e discutir as diferenças e dificuldades apresentadas.

1.3 Metodologia

Este trabalho de investigação foi conduzido de maneira a responder à questão de investigação apresentada. Todas as fases da metodologia seguiram o modelo representado na Figura 1, conhecido como *The Research Onion*.

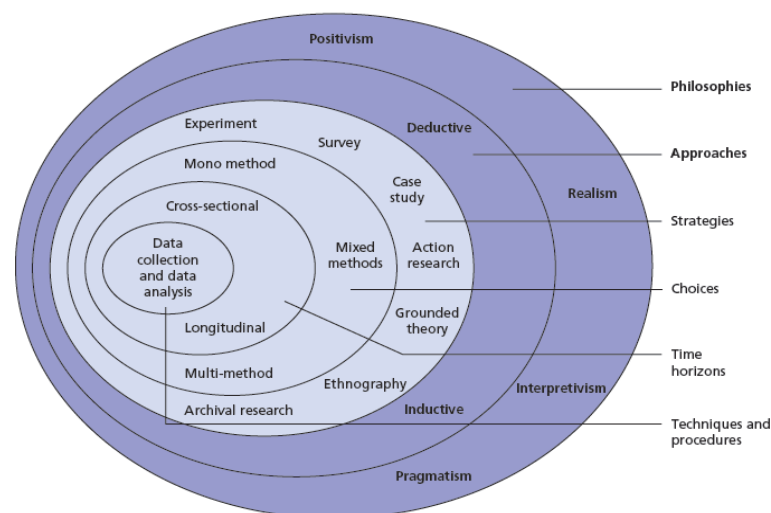


Figura 1 - The research onion (Saunders, 2011)

A estratégia de investigação escolhida será o modelo investigação-ação, onde o investigador se envolveu diretamente em sucessivas rondas de aplicação, monitorização e ajuste do modelo. Será usada uma empresa de semicondutores do Norte de Portugal para os vários ciclos de experimentação e avaliação dos resultados. Conforme são obtidos os resultados, forma-se uma base do conhecimento em um domínio empírico particular. O modelo seguido foi o de espiral de investigação-ação (Saunders, 2011) que começa dentro de um contexto específico e com um propósito claro. Inicia-se com um diagnóstico, por vezes referido como

avaliação e análise, que é realizado para permitir o planejamento de ações e uma decisão sobre as ações a serem tomadas. Estas em seguida, são tomadas e as ações avaliadas (ciclo 1). Os ciclos subsequentes envolvem mais diagnóstico, tendo em conta as avaliações anteriores, o planejamento de novas ações, realizar as ações e por fim avaliá-las (Figura 2).

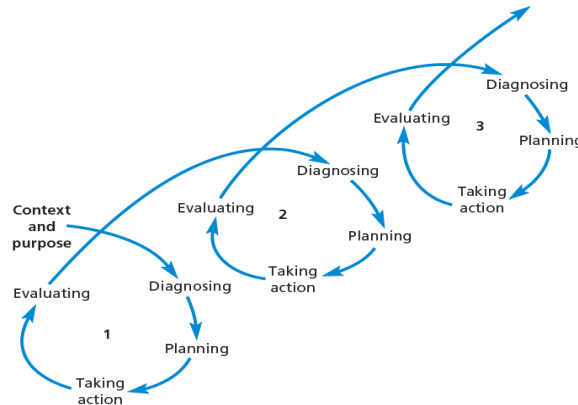


Figura 2 - Espiral de investigação-ação (Saunders, 2011)

Quanto aos métodos esta investigação utilizará métodos mistos, ou seja, métodos quantitativos e métodos qualitativos, pois existe a necessidade de se trabalhar com dados estatísticos e informações não mensuráveis durante o desenvolvimento e validação do modelo proposto nesta investigação. De acordo com Saunders (2011), o método misto de pesquisa utiliza técnicas quantitativas e qualitativas para recolha de dados e procedimentos de análise, seja ao mesmo tempo (em paralelo) ou um depois do outro (sequencial), mas não os combina. Isto significa que, embora o método misto de pesquisa use ambas visões quantitativas e qualitativas na fase de métodos de pesquisa, os dados quantitativos são analisados quantitativamente e os dados qualitativos são analisados qualitativamente

Segundo Figueiredo e Souza (2011) não existem regras rígidas, o mais importante é que haja a flexibilidade nos procedimentos metodológicos, desde que, sejam adequados ao objeto que se pretende conhecer e ao problema que se quer responder. Certo é que parte do problema pode ser esclarecida na perspectiva quantitativa, e outra parte na óptica qualitativa.

Relativamente ao horizonte temporal, o estudo será transversal, pois estará localizado no tempo, ou seja, para o desenvolvimento do modelo proposto os dados serão coletados e limitados a apenas a uma área de negócio específica de forma a inferir algumas relações de causa e efeito e limitados a um período de tempo (Saunders, 2011).

Tendo como base nos conceitos metodológicos apresentados, a realização deste trabalho suportou-se em cinco fases descritas a seguir:

Fase 1. Revisão da literatura existente sobre o *Toyota Production System* (TPS), no que diz respeito a seu histórico, conceitos, desperdícios até o surgimento do *Lean Manufacturing* onde foi abordado o pensamento *lean* juntamente com seus princípios; Revisão da literatura existente sobre as ferramentas de representação visual de unidades produtivas, definições e que tipo de desperdícios são cobertos por elas.

Fase 2. Revisão da literatura existente sobre o *Waste Identification Diagrams* (WID) referente ao seu conceito, representação dos blocos de estação de trabalho, setas de esforço de transporte e gráficos de utilização de mão-de-obra.

Fase 3. Desenvolvimento do novo modelo para representação visual de unidades produtivas baseado no (WID) que integrado com os parâmetros do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), possibilitará a visualização em cada estação de trabalho das paragens planeadas, paragens não planeadas, perdas de velocidade e perdas de qualidade ajudando assim na detecção de possíveis soluções para aumento de capacidade no processo.

Fase 4. Comparação do modelo desenvolvido com a ferramenta de representação visual mais conhecida na Engenharia Industrial (*Value Stream Mapping* -VSM), no que diz respeito à capacidade de representação da informação e a facilidade de interpretação.

Fase 5. Aplicação do modelo desenvolvido em empresas de diferentes segmentos do Polo industrial de Manaus. Pretende-se validar a eficácia do modelo com relação a interpretação da informação, relevância na sua utilização e impactos nas empresas.

Fase 6. Escrita da tese, onde serão mostrados os resultados e conclusões encontrados e trabalhos futuros.

1.4 Estrutura da Tese

Além do presente capítulo, este trabalho encontra-se estruturado da seguinte maneira: No capítulo 2 de revisão da literatura, a primeira parte da revisão refere-se ao pensamento *lean*, bem como, os conceitos de valor, desperdício e os princípios *lean*. A segunda parte apresenta as principais ferramentas de representação visual de unidades produtivas utilizadas na engenharia industrial. Doze ferramentas são apresentadas como referência do “estado da arte” para o desenvolvimento do novo modelo. Por fim é feita uma comparação entre as ferramentas com relação aos critérios: eficácia visual, abrangência, desperdícios cobertos e avaliação de desperdícios.

No Capítulo 3 referente ao *Waste Identification Diagrams* (WID) é apresentado o WID (Básico), com seus conceitos e objetivos. Após isso é apresentado a proposta do novo WID com sua nova abordagem envolvendo parâmetros relacionados ao OEE e por fim este novo modelo é aplicado numa empresa de semicondutores do Norte de Portugal e apresentado os resultados com relação a interpretação das informações visualizadas no WID/OEE.

Em seguida o capítulo 4 mostra uma comparação entre o VSM e o WID/OEE, onde o mesmo foi comparado com a ferramenta visual mais utilizada na engenharia industrial, o *Value Stream Mapping* (VSM). É também apresentado o resultado da aplicação de questionários realizados com estudantes e profissionais de engenharia industrial, com o objetivo de comparar as duas ferramentas em termos de eficácia na interpretação de informações referentes a uma mesma unidade produtiva.

O capítulo 5 apresenta a aplicação do WID/OEE em cinco empresas do polo industrial de Manaus, juntamente com a análise e diagnóstico de cada uma das unidades produtivas destas empresas. É apresentado também o resultado dos questionários que foram respondidos pelos gestores destas empresas com o objetivo de avaliar a eficácia do WID/OEE em aspectos de interpretação, relevância e impactos na empresa.

No capítulo 6 todas as análises e discussão dos resultados referentes aos capítulos 3, 4 e 5 são apresentadas neste capítulo, desde a aplicação do novo modelo proposto, comparação do modelo com a ferramenta VSM e avaliação da eficácia do modelo após o mesmo ser aplicado em cinco empresas de diferentes segmentos do Polo Industrial de Manaus. E por fim o capítulo 7 fazendo uma exposição das considerações finais a respeito do desenvolvimento desta tese, mostrando sua contribuição e as conclusões a partir de cada um dos objetivos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Pensamento *Lean*

No início do século XX, Henry Ford alterou os paradigmas de fabricação artesanal para fabricação em série quando introduziu as técnicas de produção em massa na fabricação de automóveis. A abordagem mudou das pequenas oficinas com profissionais altamente especializados para as grandes áreas de trabalho com equipamentos de elevado custo. Os processos e *layouts* passaram a orientar-se pelos princípios da produção em massa e o foco da avaliação de desempenho passou a ser a utilização dos recursos. Com uma maior oferta de produtos, a complexidade destes processos aumentou e foram desenvolvidos complexos sistemas de gestão. E inevitavelmente, levaram ao aumento dos tempos de *lead time* e acumulação de inventários.

A indústria Japonesa, liderada pela Toyota e seus fornecedores, foi refazendo as regras de gestão industrial para responder às novas expectativas e aos desafios colocados por um mercado em constante mudança. O modelo proposto foi o Sistema Toyota de Produção (TPS, *Toyota Production System*), criado por Taichi Ohno (1988) na década de 1950, tendo início no pós-guerra na empresa automobilística japonesa *Toyota Motor Company* e os seus fundamentos foram expandidos para o ocidente após a crise do petróleo na década de 1970. O TPS evoluiu da necessidade criada pelas restrições do mercado Japonês que exigiam a produção de pequenas quantidades de muitas variedades sob condições de baixa procura. Estas restrições serviram como um critério para avaliar se os fabricantes de automóveis japoneses poderiam estabelecer-se e sobreviver competindo com os sistemas de produção já estabelecidos na Europa e Estados Unidos.

Pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), na década de 90, divulgaram um estudo advertindo os países ocidentais sobre as novas metodologias de produção que estavam sendo aplicadas em algumas empresas automobilísticas japonesas (Womack *et al.*, 1990). Segundo esta pesquisa, a nova abordagem foi responsável pelo desempenho superior apresentado pela indústria daquele país nas últimas décadas, surgindo assim o termo *lean manufacturing* para adjetivar essa abordagem de produção. A expressão *lean* neste contexto foi usada numa publicação John Krafcik (1988) que era pesquisador do *International Motor Vehicle Program* IMVP

Dois dos autores (Womack e Jones, 1996) da referida pesquisa do MIT, expuseram uma proposta para empresas de produção em massa se transformarem em empresas *lean*. Os autores colocaram alguns elementos que expandiram o conceito inicial publicado em 1990, e desenvolveram um novo conceito chamado de Pensamento *lean*.

O pensamento *lean* proporciona uma maneira para especificar valor, alinhando as ações de criação de valor na melhor sequência, realizando estas atividades sem interrupção quando alguém solicitar e de forma mais eficaz. Em suma, o pensamento *lean* é *magro*, porque fornece uma maneira de se fazer mais com menos, menos esforço humano, menos equipamentos, menos tempo e menos espaço, aproximando-se mais e mais em oferecer aos clientes exatamente o que eles querem. O pensamento *lean* também proporciona uma forma de tornar o trabalho mais satisfatório, proporcionando *feedback* imediato sobre os esforços para converter o desperdício em valor (Womack e Jones, 1996).

A palavra ‘pensamento’ sugere um conceito abrangente não limitado somente ao chão de fábrica, mas também às áreas administrativas da organização e aos fornecedores. O método procura alcançar todas as atividades que geram valor ao produto, sejam elas realizadas na própria organização ou em outro local. Desde o seu desenvolvimento inicial até os dias de hoje, o pensamento *lean* tem evoluído bastante, graças aos seus precursores e às empresas que lhes serviram de referência, como também à contribuição e experiência de entidades espalhadas por todo mundo, que ajudam no crescimento da filosofia, desenvolvendo e implementando a mesma nos mais diversos setores de atividades.

2.1.1 Valor

O ponto de partida essencial para o pensamento *lean* é o valor. Neste contexto do pensamento *lean*, o valor só pode ser definido pelo cliente final. O pensamento *lean* deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos através do diálogo com clientes específicos. Para tanto pode ser necessário ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos elaborados por equipas que conheçam o valor sob o ponto de vista do cliente. Especificar o valor com precisão é o primeiro passo da mentalidade *lean*.

Segundo Carreira (2005), em ambientes *lean*, as seguintes questões devem ser feitas: “Será que esta atividade contribui diretamente para tornar o produto do cliente mais completo?” E

“o cliente paga para essa atividade ocorrer?” Se a resposta a qualquer uma destas perguntas for “ não”, pode-se perguntar: “por que está a ser realizada esta atividade? Esse conceito e essa definição de valor levam-nos a dois dos termos analíticos fundamentais do *lean*, “acrescentar valor” e “não acrescentar valor”. Considera-se que uma atividade acrescenta valor quando essa atividade transforma o produto ou entrega, na visão do cliente, num estado mais completo. O produto foi fisicamente alterado, e o seu valor para o cliente aumentou. Por outro lado, considera-se que uma atividade não acrescenta valor quando essa atividade que consome tempo (pessoas, recursos), materiais e ou espaço (instalações), não altera o produto fisicamente ou não aumenta o seu valor. Esta é a lógica bastante simples, mas é profundamente diferente das definições convencionais utilizadas por muitas empresas.

Mas não são somente os clientes que esperam receber valor das organizações. Os colaboradores, acionistas, os fornecedores e a sociedade em geral também esperam receber algo louvável, para que continuem a apoiar o desenvolvimento da organização. Não pensar em valorizar estas partes é comprometer seriamente o futuro de qualquer organização.

Womack e Jones (2004) questionam, por que é tão difícil definir corretamente o valor? Porque a maioria dos fabricantes quer fazer o que eles já estão fazendo e em parte, porque muitos clientes só sabem pedir alguma variante do que eles já estão recebendo. Eles simplesmente começam de maneira errada e chegam até ao final também de maneira errada. Então, quando os fornecedores ou clientes decidem repensar sobre o valor, muitas vezes voltam a cair nas simples fórmulas (baixo custo, maior variedade de produtos através da personalização, entrega imediata, etc.) ao invés de analisar conjuntamente o valor e desafiar as velhas definições para ver o que realmente é necessário. Outra razão pela qual as empresas têm dificuldade em obter o valor certo é que, durante a criação do valor, muitas vezes este passa por muitas empresas, cada um tende a definir o valor de uma maneira diferente de atender suas próprias necessidades. E quando essas diferentes definições são somadas, eles muitas vezes não se somam, causando assim um valor completamente deturpado.

2.1.2 Desperdício

Segundo Ohno (1988), desperdício são todas as atividades realizadas que não acrescentam valor. Estas atividades, chamadas de “MUDA” pelos japoneses, consomem recursos e tempo, e fazem com que os produtos ou serviços disponibilizados no mercado sejam mais onerosos do que deveriam. Exemplos disso são: deslocações, controles e inspeções, burocracia,

verificações, ajustes e acertos, armazenamento de materiais, resolução de problemas de qualidade, arquivamento de documentos, tempo ao telefone ou na internet, entre muitos outros.

Um dos grandes méritos dos especialistas japoneses foi o de alterar o paradigma vigente que conceituava o desperdício, redefinindo-o como toda a atividade que não acrescenta valor, como tal, é passível de ser eliminada. O paradigma anterior aceitava alguns desperdícios como condição normal da execução do processo, enquanto a filosofia japonesa atacou categoricamente essa concepção, procurando eliminar toda forma de desperdício (Paranhos, 2007).

Para Ohno (1988), a verdadeira melhoria na eficiência surge quando se produz zero desperdícios, ou seja, quando todas as atividades acrescentam valor. No TPS deve-se produzir apenas a quantidade necessária e a força de trabalho deve ser reduzida para cortar o excesso de capacidade e corresponder à quantidade necessária. O passo preliminar para a aplicação do TPS é identificar completamente os desperdícios (Ohno, 1988).

Os sete tipos de desperdícios foram identificados por Ohno (1988) no decorrer do desenvolvimento do TPS. Esses tipos de desperdícios são os seguintes:

Sobreprodução: esse é um dos piores desperdícios, pois gera outros desperdícios como, por exemplo, o desperdício do inventário (Team 1998). Consiste na fabricação de grandes lotes de componentes ou de peças, muito além do que o mercado (ou próximo estágio de produção) está absorvendo. Quando o mercado está em crescimento, esse desperdício não é tão notado, mas quando está decrescendo o seu efeito é enorme na empresa, pois, implica em estoques desnecessários. Alguns exemplos de causas típicas de produção em excesso são os seguintes:

- a) Os tempos de preparação das máquinas para a mudança de lote são umas das causas mais comuns de produção em excesso, pois, como o tempo de mudança das máquinas é alto produz-se em excesso para compensar esta perda de tempo.
- b) Atitudes do tipo: “já que se estamos produzindo, então vamos fazer a mais”, “de certeza que vamos precisar disto mais tarde” são bastante típicas nas empresas e geram produção em excesso. Produzir mais do que o necessário para acabar aquele lote de matéria-prima, para acabar de encher a caixa ou “produzir até o fim do turno” também são argumentos comuns que contribuem para este grande desperdício que é a produção em excesso.

- c) Produzir antes do momento em que é necessário também é produção em excesso. Produzir um lote antes do prazo de entrega porque a máquina estava disponível ou porque a máquina estava preparada para aquele tipo de artigo é um desperdício de produção em excesso.

Com o excesso de produção, mais mão-de-obra é utilizada e mais matéria-prima é consumida não havendo retorno algum a curto prazo. Produzir a mais resulta na necessidade de mais espaço de armazenamento, mais transporte e movimentação de materiais, problemas com controlo de produção e capital parado. Esta ocupação de equipamentos e pessoas causa nos gestores uma ideia que está tudo bem na produção escondendo assim uma enorme quantidade de desperdícios.

Para equilibrar a capacidade com a procura, sem produzir em excesso, é necessário implementar métodos do *lean manufacturing*, como por exemplo: produção puxada, fluxo contínuo, postos de trabalhos balanceados, produção nivelada (*heijunka*), mudança rápida de ferramentas (*quick change over*).

Coimbra (2009) afirma que as pessoas tem dificuldade em aceitar que o excesso de produção é um desperdício. Elas tendem a sentir que, quando um pedido de cliente chega e o produto já está disponível, não é preciso se preocupar em fabricá-lo.

Esperas: este desperdício ocorre em situações nas quais os operadores estão simplesmente olhando as máquinas operarem ou aguardando instruções, ou, ainda, quando estão esperando por matéria-prima, ou pela empilhadeira, entre outros tantos motivos. É muito frequente ver operadores simplesmente olhando para máquinas de carregamento e descarregamento automático, durante ciclos de produção, de forma a prevenir alguns problemas que possam ocorrer quer nos sistemas de carregamento ou descarregamento que mesmo no próprio processo.

Este desperdício pode ser consequência de desequilíbrios de capacidade entre processos, problemas de programação da produção ou abordagens ineficientes da organização do trabalho.

Esta prática pode ser alterada eliminando a necessidade de observação criando sistemas para prevenir possíveis erros ou criando mecanismos automáticos de parada do equipamento caso algo aconteça de errado (esta abordagem é denominada de *Jidoka*). No limite, quando não é possível resolver por essa forma, há que procurar soluções de em que um mesmo operador monitoriza várias máquinas ao mesmo tempo.

Transporte: É também conhecido como desperdício de movimentação de material (Coimbra, 2009). O transporte de materiais num sistema produtivo é tão presente como as operações sobre esses materiais. O processamento, num sistema produtivo, está diretamente ligado ao fluxo de materiais, pois está sempre presente fluxo de materiais desde os fornecedores até aos clientes, passando pelos armazéns de matérias-primas, armazéns intermédios e armazéns de produtos acabados. Todos os produtos produzidos tiveram de ser transportados ao longo de todos os processos tratando-se de um esforço considerável em energia e em mão-de-obra sem resultar em nenhum valor acrescentado para os produtos.

Normalmente é consequência de *layouts* desadequados que obrigam a estocagem longe do consumo, ou de um arranjo físico das máquinas de forma tal que as peças viajam de um lado para o outro para serem processadas. Tipicamente uma fábrica que possua um arranjo físico por processo propicia forte ocorrência deste desperdício.

Para reduzir os transportes é necessário corrigir *layouts*, alterar o planeamento das operações e optar por sistemas de transporte mais flexíveis (pequenos, rápidos e modulares).

Processo incorreto ou desnecessário: existem muitos desperdícios que são ocasionados pelo próprio processo, pelas condições de operação na estação de trabalho, ou dos dispositivos ou das ferramentas. Nem todo o processamento é normalmente necessário ou feito de forma mais eficaz e eficiente. É frequente que métodos errados de trabalho são feitos continuamente, quer seja no uso de equipamento em más condições de funcionamento, ou no uso de ferramentas inapropriadas utilizadas na produção, o que resulta em muitas perdas de eficiência. Acontece também que algumas vezes, um conjunto de operações realizadas em postos de trabalho diferentes poderiam ser combinadas em apenas um posto de trabalho completando-se todas essas operações num processo apenas. A verdade é que muito do desperdício de processamento acaba por continuar a fazer parte da rotina normal do dia a dia a não ser que alguém tome a iniciativa de o atacar.

Inventário: Coimbra (2009) chama este desperdício de espera de material, porque enquanto o material está parado não está acontecendo nada, o material não está sendo transformado, e nenhum valor está sendo acrescentado. Os inventários são a acumulação de materiais, artigos, componentes ou produtos, em qualquer estágio do processo de produção. Os inventários são normalmente justificados por uma ou por mais do que uma das seguintes razões:

- Desequilíbrios entre capacidades de diferentes processos. Se um processo a montante tiver uma cadência superior ao processo a jusante, é natural que se crie inventário. O contrário também pode ser verdade. Há casos em que parte de um processo trabalha dois turnos por dia para satisfazer o processo seguinte que apenas trabalha um turno por dia, neste caso é obviamente necessário manter inventário;
- Equipamento temporariamente indisponível. Se um equipamento estiver indisponível durante algum tempo, é natural que o processo a montante não pare de produzir, criando inventário;
- Incumprimentos de prazos dos fornecedores. Se os fornecedores demorarem mais a cumprir os seus prazos, é natural que a empresa em questão mantenha inventários para evitar ruptura nas vezes em que o fornecedor se atrasa;
- Defeitos. É necessário ter produtos bons em inventário para poder substituir os produtos defeituosos que possam ser produzidos;
- Tempos de preparação longos. Os tempos de preparação longos levam naturalmente a que se produzam artigos para inventário.

Alguns contributos simples e eficazes para eliminar inventários são: produção puxada, melhoria da qualidade dos processos, nivelamento da produção, mudança rápida de ferramentas e regulação do fluxo de operações.

Os inventários são um tipo de desperdício especialmente mau porque ajudam a esconder um grande número de problemas existentes nos sistemas produtivos, como por exemplo: transporte, defeitos e movimentação (Team 1998). Os inventários são muito desejados porque deixam as pessoas descansadas, mas são as causas de grandes perdas de produtividade.

Movimentação: Um fator importante a ser lembrado é que movimento não é necessariamente igual a trabalho, ou seja, se um operador está andando a procura de uma ferramenta, ele está se movimentando, mas não está executando nenhum trabalho, e sim ocasionando custo ao produto. Os desperdícios com movimentação de pessoas dizem respeito a todos os movimentos de pessoas que não resultam em nenhum valor acrescentado nos produtos. Exemplos de desperdícios com movimentos são:

- Procura de materiais, desenhos ou documentos;
- Procura de ferramentas em gavetas, em estantes ou pela fábrica;
- Procura de pessoas (encarregado, chefe ou colega) para recolher informações;
- Ir ao armazém buscar componentes em falta para a produção;

- Caminhar de uma máquina para outra ou de uma secção para outra;
- Ir dar recados ou entregar documentos.

Esses movimentos fazem parte normal do dia-a-dia de trabalho e não são intencionais, aliás, são facilmente justificados, mas resultam de implantações (*layouts*) desadequadas, desatenção aos aspectos ergonómicos, fraca organização dos postos de trabalho, falta de limpeza, métodos de trabalho inconsistentes, etc.

Defeitos: esse se constitui uma consequência, principalmente, de problema no processo, tanto no projeto do processo quanto nas condições do posto de trabalho e na execução. Produzir peças defeituosas é sem dúvida o pior tipo de desperdício, de matéria-prima, horas de trabalho e de máquinas. Produzir produtos com defeitos é um desperdício, pois sobre esses produtos usou-se tempo de mão-de-obra, tempo de equipamento, matéria-prima, ferramentas, etc. sem que isso resultasse em produtos que possam ser enviados para os clientes. Em alguns casos esses produtos defeituosos são irrecuperáveis, resultando numa perda total, embora noutros casos os produtos possam ser recuperados. No segundo caso, embora sem perda total, é necessário um esforço suplementar em termos de mão-de-obra direta, equipamentos e gestão. Além do desperdício direto dos defeitos, há também impacto indireto noutros tipos de desperdícios como esperas, inventário, sobreprodução. Os desperdícios com a produção de produtos defeituosos não dizem respeito apenas aos produtos que não passam no controlo de qualidade no fim da produção, resultam também de:

- Erros de fabricação;
- Erros de instalação;
- Erros de projeto;
- Erros de interpretação dos requisitos;
- Erros de comunicação;
- Falta de competências ou formação;
- Formas incorretas de transporte ou de acondicionamento;
- Uso de material errado.

As formas mais comuns de eliminar os defeitos podem ser: construir qualidade na fonte e em cada processo/operação, presença de dispositivos *poka-yoke* e padronizar operações.

Segundo Liker (2005) um oitavo desperdício, definido como desperdício do talento das pessoas, que significa perder ideias, tempo, habilidade e criatividade e oportunidade de

aprendizagem dos colaboradores tem sido bastante comum. Este desperdício é gerado quando o agente de mudanças não envolve os colaboradores na busca por soluções.

2.1.3 Princípios *Lean*

Womack e Jones (2004) afirmam que os cinco princípios básicos do pensamento *lean*, cujo objetivo é tornar as empresas mais flexíveis e capazes de responder efetivamente às necessidades dos clientes, são:

- Valor: o princípio fundamental para o pensamento *lean* é o valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final. Para ele, a necessidade gera o valor e cabe às empresas determinarem qual é essa necessidade, procurando satisfazê-la e cobrar um preço específico por isso, com o objetivo de manter a empresa no negócio e aumentar os lucros via a melhoria contínua dos processos, reduzindo os custos e melhorando a qualidade;
- Cadeia de valor: significa analisar a cadeia produtiva e separar os processos em três partes: aqueles que realmente acrescentam valor, aqueles que não acrescentam valor, mas são importantes para a manutenção dos processos e da qualidade, e finalmente, aqueles que não acrescentam valor, devendo ser eliminados imediatamente;
- Fluxo de valor *lean*: após o valor ser especificado, a cadeia de valor mapeada, é preciso fazer com que as atividades que acrescentem valor fluam em um fluxo de valor contínuo e estável, o chamado fluxo de valor *lean*; a condição ideal seria que os produtos sempre fluíssem em um fluxo de valor *lean* da matéria-prima ao produto acabado, sem movimentos inúteis, sem interrupções, sem lotes e sem filas;
- Produção puxada: O fluxo dos materiais deve ser puxado pelo cliente. Se a procura aumentar o fluxo deve aumentar e se a procura diminuir, o fluxo deve diminuir na mesma proporção;
- Perfeição: deve ser o objetivo constante de todos os envolvidos no fluxo de valor. A busca contínua da perfeição em direção a um estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa em processos transparentes, onde todos os membros da cadeia (montadores, fabricantes de diversos níveis, distribuidores e revendedores) tenham conhecimento profundo do processo como um todo, podendo dialogar e buscar continuamente melhores maneiras de criar valor.

Liker (2005), definiu 14 princípios de gestão do modelo toyota que norteiam uma cultura por qualidade e eficiência. Estes princípios estão organizados em 4 grandes categorias conforme mostrado a seguir:

1) Filosofia de longo-prazo.

- Princípio 1: basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo com metas financeiras de curto prazo.

2) O processo certo irá produzir resultados.

- Princípio 2: Criar um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à superfície;
- Princípio 3: Usar sistemas puxados para evitar a superprodução;
- Princípio 4: Nivelar a carga de trabalho (*Heijunka*);
- Princípio 5: Construir uma cultura de parar e resolver os problemas, conseguindo assim qualidade na primeira vez;
- Princípio 6: Tarefas padronizadas são a base para melhoria contínua e a capacitação dos funcionários;
- Princípio 7: Usar o controle visual para que nenhum problema fique escondido;
- Princípio 8: Usar somente tecnologia confiável e completamente testada que atenda aos processos e funcionários.

3) Valorização das organizações através do desenvolvimento de seus funcionários e parceiros.

- Princípio 9: Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, que vivam a filosofia e ensine aos outros;
- Princípio 10: Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa;
- Princípio 11: Respeitar a rede de parceiros e fornecedores, desafiando-os e ajudando a melhorar.

4) A solução contínua de problemas na origem estimula a aprendizagem organizacional.

- Princípio 12: Ver por si mesmo para entender a situação completamente (*genchi genbutsu*);
- Princípio 13: Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as opções e implementando com rapidez;

- Princípio 14: Tornar-se uma organização de aprendizagem através da reflexão incansável (*hansei*) e a melhoria contínua (*kaizen*).

Resumidamente, os princípios de Womack e Jones são voltados para a manufatura e a cadeia de fornecimento, enquanto que os 14 princípios de Liker mostram que o modelo Toyota de sucesso pode ser aplicado em qualquer tipo de organização, para melhorar qualquer processo de negócio.

2.2 Ferramentas existentes para representação de unidades produtivas

Para acrescentar valor aos produtos e serviços, as organizações contam com processos e atividades (Hunt, 1996) que devem obviamente ser devidamente geridos utilizando técnicas adequadas. Estas técnicas permitem a análise, diagnóstico e a melhoria dos aspectos importantes dos processos e atividades como: custo, tempo de ciclo, qualidade, flexibilidade e confiabilidade. Várias ferramentas gráficas estão disponíveis para auxiliar o analista no processo de representação, análise e diagnóstico de unidades de produção, mas elas geralmente são dedicados a aspectos específicos. Neste capítulo serão apresentadas as principais ferramentas gráficas, encontrados na literatura, para a representação das unidades de produção, indicando os tipos de desperdício que cada um é capaz de representar no contexto dos sete tipos de desperdícios clássicos definidos por Ohno (1988).

2.2.1 Fluxograma

O primeiro método estruturado para documentar o fluxo de processo foi o gráfico de fluxo de processo, e foi introduzido por Frank Gilbreth aos membros da ASME em 1921 como a apresentação "Gráficos do Processo, Primeiros Passos para encontrar a melhor maneira de fazer o trabalho". No início da década de 1930, um engenheiro industrial, Allan H. Mogensen começou a treinar empresários na utilização de algumas das ferramentas de engenharia industrial, dentre elas o gráfico de fluxo de proceso, em suas Conferências sobre simplificação do trabalho em Lake Placid, Nova Iorque. Em 1944, Mogensen levou a ferramenta para a Procter and Gamble, onde desenvolveu seus métodos deliberados de mudança de programa. E também em 1944, Ben S. Graham, diretor de Engenharia da Formcraft Standard Register Corporation, adaptou o diagrama de fluxo de processo para o processamento de informações com o seu desenvolvimento do diagrama de processo multi-fluxo para exibir vários documentos e seus relacionamentos (ASME, 1947).

O gráfico de fluxo de processo (*flow process chart*) constitui um tipo de representação gráfica utilizado na área de engenharia industrial (Courtois *et al.*, 1997). Os gráficos de fluxo de processo tem o objetivo de representar a sequência de operações envolvidas na produção de um determinado produto ou família de produtos. Símbolos específicos foram criados para representar as operações de processamento, transporte de materiais, armazenamento, buffers e inspeção (Figura 3).

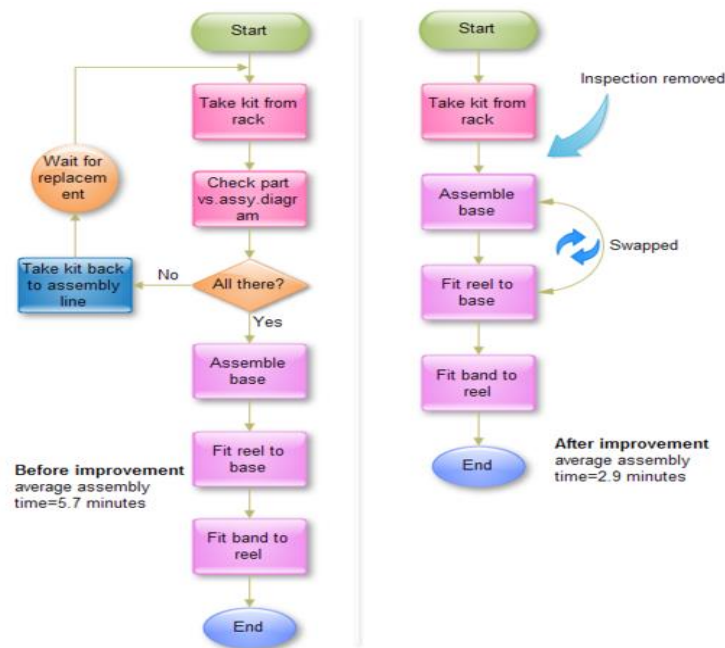


Figura 3 - flow process chart (Slack, 1997)

Conhecido também como fluxograma, o gráfico de fluxo de processo tem as seguintes aplicações de acordo com Slack *et al.* (1997): Melhora a compreensão do processo de trabalho; Mostra os passos para a realização do trabalho e cria normas de padrão de trabalho. É sua característica ajudar o gestor a visualizar e mapear o processo em seu fluxo e em sua organização, tanto administrativa quanto abstrata; serve também como auxiliar na padronização de atividades, por vezes pode ser utilizado como substituto ou complemento a um procedimento do sistema da qualidade. Para Juran (2010) o fluxograma é a maneira mais eficaz de identificar os clientes e seguir o produto e ver o que é afetado por ele, assim como, é também a maneira gráfica de visualizar as etapas de um processo. O fluxograma é utilizado também por programadores na elaboração de algoritmos (programação estruturada), porém, neste caso ele possui algumas representações próprias.

Os Fluxogramas são traçados com caixas contendo a descrição do processo e com linhas e setas que mostram a sequência de atividades. O retângulo é a frequente alternativa para uma

caixa do fluxograma, entretanto outras formas geométricas podem distinguir os tipos de atividades. Também da mesma forma, cores e sombreados podem ser empregados para identificar os diferentes tipos de atividades, como por exemplo, as mais importantes no processo.

Segundo Sá, Carvalho e Sousa (2011) apesar de não ter sido projetado para esse fim, os gráficos de fluxo de processo podem identificar alguns desperdícios, como, inventários e transporte de materiais. Porém, estes gráficos não incluem qualquer tipo de quantificação, sendo assim de uso limitado no contexto da identificação de desperdícios. Além disso, os gráficos de fluxo de processos estão focados no fluxo de materiais e o papel dos trabalhadores não é abordado (Sá, Carvalho e Sousa, 2011).

2.2.2 Mapofluxograma

O mapofluxograma de Barnes (1968) tem o objetivo de representar de uma forma melhor os processos e o fluxo percorrido pelo produto dentro da empresa. O mapeamento é realizado sobre uma planta (mapa) de edifício, ou sobre a área em que a atividade se desenvolve. Desenham-se linhas nesta planta para se mostrar a direção do movimento. Desta forma, os símbolos do gráfico do fluxo do processo são inseridos nas linhas para indicar o que está sendo executado (Figura 4).

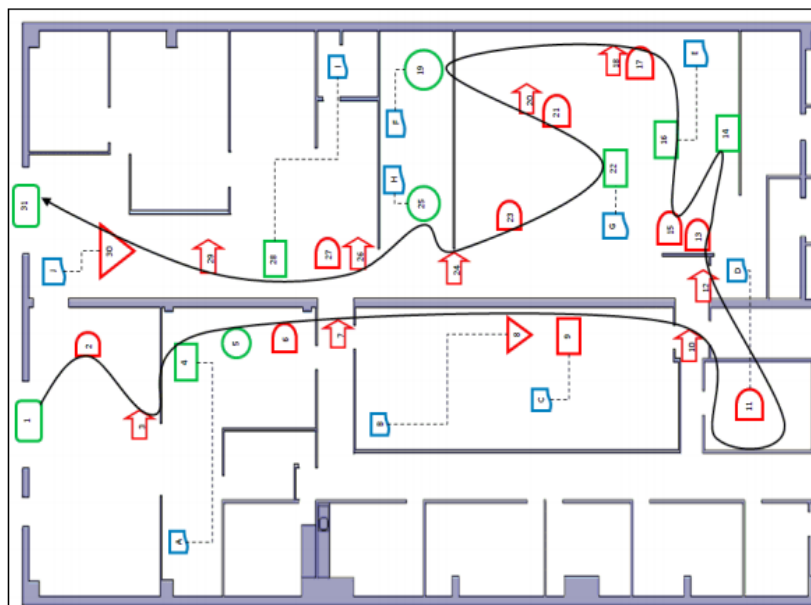


Figura 4 – Mapofluxograma (Barnes, 1968)

A grande vantagem do mapofluxograma é a possibilidade de visualização do processo ligado ao *layout* da área. Este fator favorece, nomeadamente, aos transportes, que podem ter suas rotas definidas no mapofluxograma. Porém, não fornece dados sobre a intensidade dos fluxos de movimentação e como no fluxograma o papel dos trabalhadores não é abordado.

Segundo Moura (2005), o mapofluxograma também pode ser chamado de diagrama de fluxo sobre o *layout*. Para o completo entendimento de um processo, é exigida uma série de informações, que, sendo analisadas em conjunto, permitem uma abordagem mais completa de possíveis problemas que possam atrapalhar o andamento da produção.

2.2.2 Diagrama de Espaguete

Diagramas de espaguete são representações visuais do fluxo das unidades de trabalho através de um processo (Figura 5). Eles ilustram a sequência de fluxo das informações, componentes ou documento, as dependências funcionais e responsabilidades para cada passo do processo. Por que são chamados de diagramas de espaguete? Às vezes, o fluxo de trabalho sequencial pode ficar tão complicado que o diagrama final se parece com uma tigela de espaguete. Os diagramas de espaguete são criados para desenhar o caminho específico através de um processo no ambiente de trabalho real. As linhas são usadas para descrever a circulação de um local do processo para o outro. Às vezes, é útil usar cores diferentes para representar o movimento das diferentes partes e fluxo de informações (Neumann e Medbo, 2010).

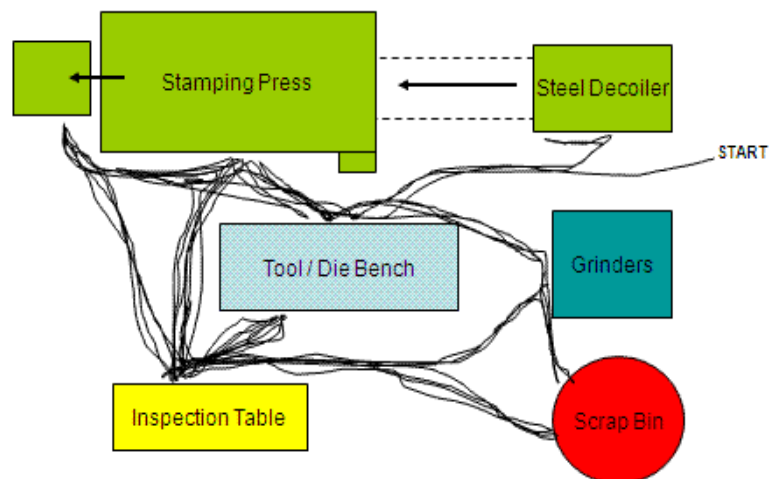


Figura 5 – Diagrama de espaguete

Conforme Adair e Murray (1996), os passos para fazer o diagrama de espaguete são os seguintes:

- Decidir o que vai ser observado, por exemplo: produto, pessoal, ou o fluxo de uma determinada atividade. É possível analisar em simultâneo usando linhas coloridas para representar cada fluxo;
- Desenhar o *layout* da área, e depois desenhar as linhas para representar os principais fluxos no diagrama. Caso já exista o *layout*, é sugerido que seja impresso em papel quadriculado onde cada quadrante corresponda a 1m;
- Após analisar as linhas, identificar as áreas com movimento desnecessário, contabilizando a metragem e o tempo gasto para fazer determinada movimentação;
- Fazer perguntas e buscar sugestões da equipe, as melhores ideias na maioria das vezes surgem de quem vive o processo diariamente.

É uma ferramenta também utilizada para estabelecer o *layout* ideal do setor ou departamento com base nas distâncias percorridas pelos funcionários. Muitas vezes estes diagramas demonstram *layouts* ineficientes e podem identificar distâncias grandes e desnecessárias que os funcionários necessitam deslocar-se entre etapas do processo (Philips e Simmond, 2013).

Este tipo de diagrama pode ser utilizado para determinar os gargalos, e dois dos tipos de desperdício, movimentação e transporte, que são comuns em processos com *layouts* fracos. Um diagrama completo mostra as complexidades do processo, e é normal sentir uma forte reação ao caos, ou espaguete, no mapa. Por esta razão, os diagramas de espaguete são inestimáveis quando usado para dirigir a necessidade de mudança (Neumann e Medbo, 2010).

2.2.4 Modelo de representação da cadeia de suprimentos e defeitos

Hicks, Heidrich, McGovern, and Donnelly (2004) criaram um modelo funcional para representar a cadeia de abastecimento em termos de processos, com suas interconexões, fluxo de materiais, fluxo de defeitos e o custo acumulativo. O modelo pode ser usado para melhorar a comunicação, análises e fornece informações para a otimização do processo.

A Figura 6 mostra o modelo onde ilustra o fluxo de materiais e o aumento no custo acumulado por unidade através dos processos e interconexões em uma cadeia de suprimentos. A figura usa linhas pontilhadas grossas para representar empresas (a cadeia de fornecimento externo) e linhas finas pontilhadas para mostrar diferentes departamentos dentro das empresas (a cadeia de abastecimento interno). Assim, as cadeias de abastecimento, tanto internas quanto externas podem ser representadas. O modelo é composto por duas partes: um balanço

que inclui o fluxo de material físico e o destino dos desperdícios (defeitos), e uma curva de custo acumulado, que inclui os custos associados com o processamento, e eliminação de desperdícios. A matéria-prima de entrada é igual à soma dos produtos de saída, incluindo os desperdícios físicos. As empresas individuais podem ser responsáveis por um ou mais processos (Hicks *et al.*, 2004).

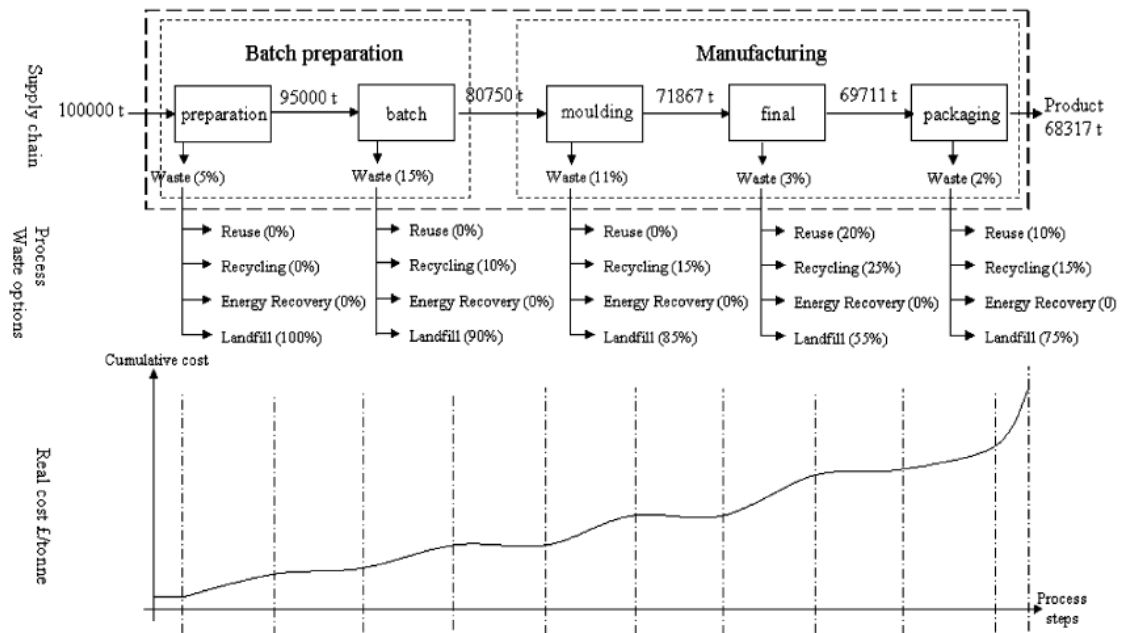


Figura 6 – Modelo de Hicks *et al* 2004

Desperdícios físicos e não-físicos podem surgir a partir de processos individuais, por exemplo, uma máquina pode produzir algumas peças defeituosas ou uma atividade de inspeção pode adicionar custo, mas não o valor. Alguns desperdícios podem também surgir a partir da interligação entre processos, tais como o custo de transporte ou danos causados durante o transporte.

2.2.5 Mapeamento das atividades do Processo

O mapeamento de atividades do processo tem suas origens na engenharia industrial, e é uma técnica para se registrar um processo de maneira simples, a fim de tornar possível seu melhor entendimento e futuras melhorias. O mapa representa os vários passos ou acontecimentos que ocorrem durante a execução de uma determinada tarefa, ou durante uma série de ações (Barnes, 1968) Figura 7. A técnica é conhecida por vários tipos de nomes neste contexto, embora a análise de processos seja o mais comum (Hines e Rich, 1997). É uma ferramenta

fundamental para o mapeamento detalhado do processo de atendimento de pedidos. Onde é usado amplamente para identificar lead times e produtividade, assim como oportunidades para ambos, juntamente com fluxo de produtos e de informação, não só na fábrica, mas também em outras áreas da cadeia de abastecimento (Pude, Naik e Naik, 2012).

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	OPERADOR	t(min)	D(m)	SIMBOLO
Operador analisa pedido de produção (Cartão Kanban)	Graça	1		● → □ ▽
Pull system busca circuitos primários no estoque	Edvaldo	2	40	○ → □ ▽
Operador executa setup da prensa	Graça	5		● → □ ▽
Operador aplica terminais	Graça	10		● → □ ▽
Inspeção visual	Graça	1		○ → □ ▽
Produto semi-acabado é levado para o supermercado de prensa	Edvaldo	2	15	○ → □ ▽
Produto semi-acabado fica esperando próximo processo				○ → □ ▽
Pull system busca circuito na locação	Edvaldo	2	15	○ → □ ▽
Operador de bancada aplica conector no circuito	Marcelo	10		● → □ ▽
Inspeção visual	Marcelo	1		○ → □ ▽
Pull system leva symix até linha de montagem	Edvaldo	3	40	○ → □ ▽
Circuito fica armazenado próximo a linha de montagem				○ → □ ▽

Figura 7 – Mapa de processos

O mapeamento de atividades do processo tem suas origens na engenharia industrial, e é uma técnica para se registrar um processo de maneira simples, a fim de tornar possível seu melhor entendimento e futuras melhorias. O mapa representa os vários passos ou acontecimentos que ocorrem durante a execução de uma determinada tarefa, ou durante uma série de ações (Barnes, 1968). A técnica é conhecida por vários tipos de nomes neste contexto, embora a análise de processos seja o mais comum (Hines e Rich, 1997).

É uma ferramenta fundamental para o mapeamento detalhado do processo de atendimento de pedidos. Onde é usado amplamente para identificar *lead times* e produtividade, assim como oportunidades para ambos, juntamente com fluxo de produtos e de informação, não só na fábrica, mas também em outras áreas da cadeia de abastecimento (Pude, Naik e Naik, 2012).

Segundo Hines and Rich (1997) existem cinco estágios para essa abordagem, descritos a seguir:

1. Estudo do fluxo do processo;
2. Identificação de desperdícios;
3. Consideração se o processo pode ser disposto em sequência mais eficiente;
4. Consideração do melhor fluxo padrão, *layout*, rotas etc;
5. Consideração se tudo o que será feito é realmente necessário;

O Mapeamento de atividades de processo envolve dois passos simples: primeiro é realizada uma análise preliminar do processo, seguido pelo registro detalhado de todos os itens indispensáveis em cada processo.

Como pode ser visto a partir do exemplo da Figura 7, cada operação é classificada em um tipo de atividade (operação, transporte, inspeção e armazenamento). A máquina utilizada para cada uma dessas atividades é registrada, juntamente com a distância percorrida, tempo e número de pessoas envolvidas. Em seguida, a distância total percorrida, o tempo necessário e as pessoas envolvidas podem ser calculados e registrados. O diagrama completo pode então ser utilizado como base para uma posterior análise e posterior aperfeiçoamento. A base nesta abordagem é tentar eliminar as atividades que são desnecessárias, simplificar algumas, ou ainda combinar atividades com outras buscando reduzir o desperdício (Hines e Rich, 1997).

2.2.6 Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimento

Segundo Hines e Rich (1997), esta ferramenta teve origem da compressão do tempo e movimentos logísticos, e foi utilizada na cadeia de fornecimento das indústrias têxteis por New (1993) e Forza *et al.*, (1993), nas indústrias automotivas, aeroespacial e na construção por Beesley (1994), onde foi chamada de mapeamento de processos baseado no tempo. E por fim esta abordagem foi adotada por Jessop e Jones (1995), na indústria eletrônica, de vestuário, de alimentos e automotiva (Figura 8).

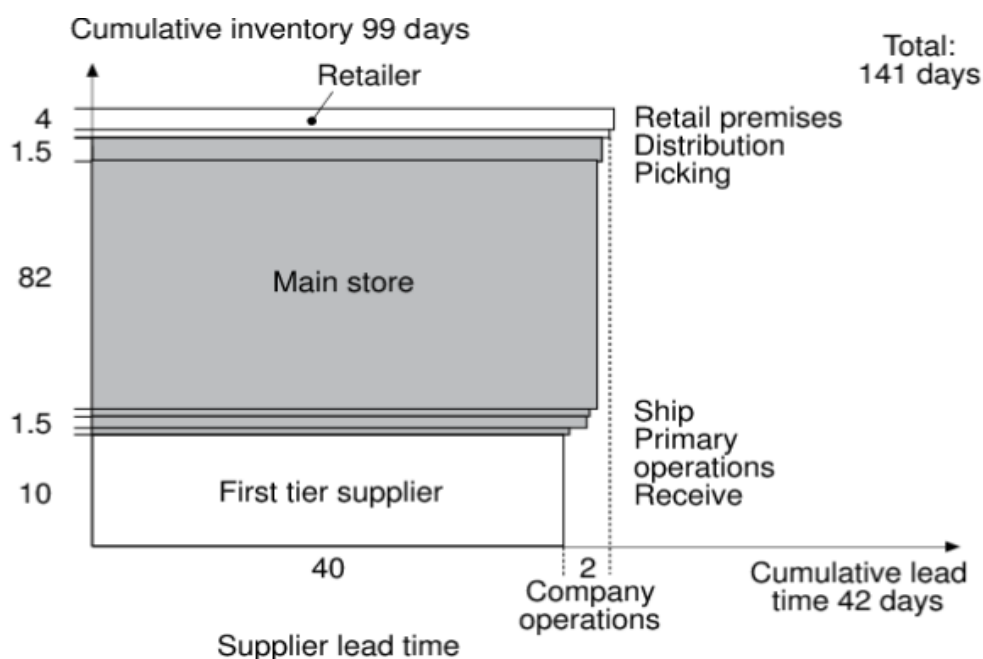


Figura 8 – Matriz de resposta da cadeia de suprimentos

Conforme Lehtinen e Torkko (2005) esta ferramenta é utilizada para avaliar o inventário e prazos de entrega assumidos por uma cadeia de fornecimento na manutenção de um determinado nível de serviço ao cliente. O objetivo desse mapeamento é melhorar ou manter o nível de toda a cadeia de serviços a um custo menor, revelando inventário desnecessário e esperas. Este tipo de mapeamento procura representar em um simples diagrama as restrições críticas de prazo de entrega para um determinado processo Figura 8. Neste caso é o *lead time* acumulado em uma empresa de distribuição, seus fornecedores e seus varejistas a jusante. Onde as medidas horizontais mostram o *lead time* para o produto, tanto interno como externo. E o gráfico vertical mostra a quantidade média de inventário permanente (em dias) em pontos específicos cadeia de abastecimento (Hines e Rich, 1997).

Neste exemplo da Figura 8, o eixo horizontal mostra o tempo cumulativo de *lead time* que é de 42 dias úteis. O eixo vertical mostra 99 dias úteis de materiais que são realizados no sistema. Assim, o tempo de resposta total neste sistema é de 141 dias de trabalho. Uma vez que este é entendido, cada um dos prazos de entrega e quantidades de inventário individual pode ser alvo de melhoria, como foi demonstrado com a abordagem de mapeamento de atividade do processo.

2.2.7 Funil da Variedade de Produção

Segundo New (1974) esta abordagem tem origem na área de gestão de operações e tem sido aplicada por na indústria têxtil (New,1993). O funil da variedade de produção é uma técnica de mapeamento visual que traça o número de variantes de produtos em cada fase do processo de produção (Figura 9). Esta técnica também gera uma série de questões relacionadas com as razões lógicas para a diversidade de produtos e a necessidade de manter essa complexidade para a cadeia de abastecimento (Pude, Naik e Naik, 2012).

Um método semelhante é a análise IVAT que analisa as operações internas nas empresas que consistem em gráficos que estejam de acordo com as formas I, V, A ou T (Macbeth and Ferguson, 1994):

- Formato "I": consistem em produção unidirecional, invariável de múltiplos itens idênticos, como uma fábrica de produtos químicos;
- Formato "V": constituído por um número limitado de matéria-prima processada numa grande variedade de produtos acabados em um padrão geralmente divergentes. As plantas "V" são típicas de têxteis e indústrias de fabricação de metal;

- Formato "A": ao contrário, têm muitas matérias-primas e uma gama limitada de produtos acabados com diferentes fluxos de matérias-primas utilizando diferentes instalações; tais plantas são típicas na indústria aeroespacial ou em outras grandes indústrias de montagem;
- Formato "T": possuem uma grande combinação de produtos a partir de um número restrito de componentes feitos em partes semi-processadas, para uma grande gama de versões finais exigidas pelo cliente; este tipo de planta é típico nas indústrias de eletrônicos e eletrodomésticos.

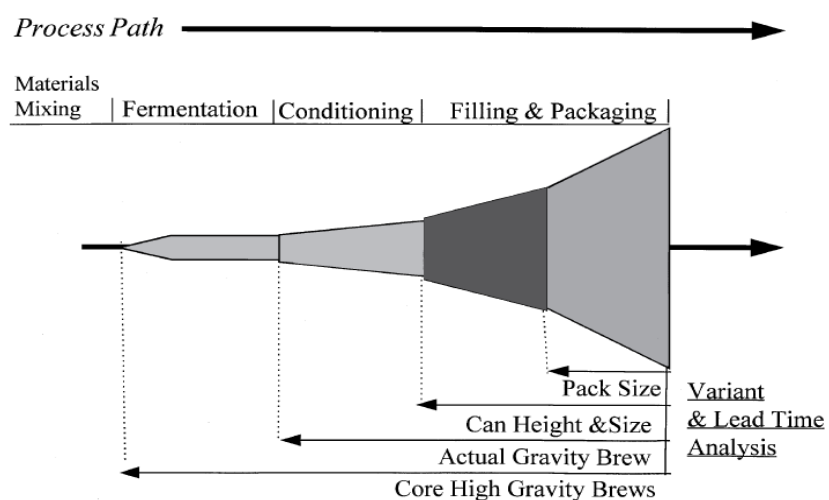


Figura 9 – Funil da variedade de produção (Hines and Rich, 1997)

Para Hines e Rich (1997), a abordagem pode ser útil para ajudar a decidir para onde direcionar a redução de estoques e de fazer alterações no processamento de produtos. É também útil na obtenção de uma visão global da empresa ou da cadeia de abastecimento que está sendo estudada.

2.2.8 Mapeamento do Filtro da Qualidade

O mapeamento do filtro da qualidade é destinado a identificar onde existem problemas de qualidade na cadeia de abastecimento (Figura 10). O próprio mapa resultante mostra onde três diferentes tipos de defeito de qualidade (produto, scrap e serviço) ocorrem na cadeia de abastecimento (Hines and Taylor, 2000):

- Defeitos do produto: defeitos de bens físicos que não são detectados pela inspeção e são, portanto, repassados aos clientes. Em alguns casos, o produto com defeito é detectado na inspeção, mas ainda assim é passado para os clientes; estes também caem nesta categoria;
- Defeitos de sucata ou scrap: defeitos que foram detectados pela inspeção. Os métodos de inspeção podem consistir no método tradicional de inspeção de produto, controle estatístico de processo ou através de dispositivos *poka yoke*;
- Defeitos de Serviços: problemas dados a um cliente que não estão diretamente relacionadas aos produtos, mas devido ao nível de acompanhamento do serviço. A maioria destes defeitos esta relacionado com a entrega inadequada (cedo ou mais tarde), documentação incorreta, embalagem ou rotulagem incorrecta, quantidade incorreta e faturamento incorreto.

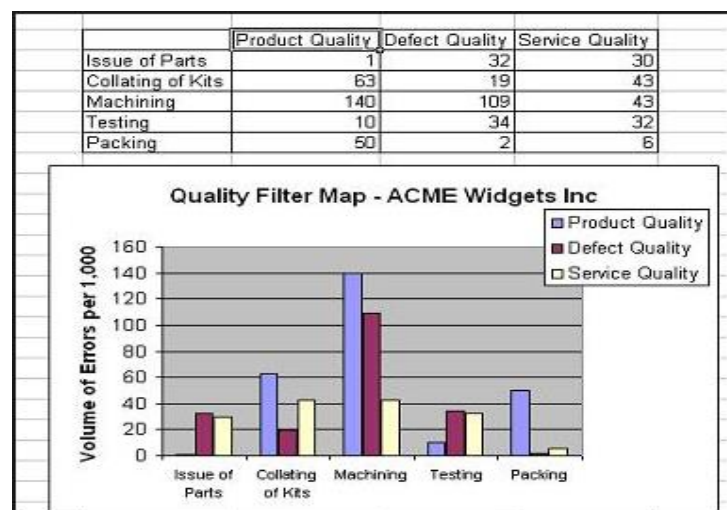


Figura 10 – Mapeamento do filtro da qualidade

Cada um destes três tipos de defeitos são então mapeados ao longo da cadeia de suprimentos através de um gráfico. Esta abordagem tem vantagens claras na identificação de onde estão ocorrendo os defeitos e, portanto, na identificação de problemas, ineficiências e desperdício de esforços. Esta informação pode então ser utilizada para atividade de melhoria imediata.

2.2.9 Mapeamento da Amplificação da Demanda

Conforme Hines and Rich (1997), o mapeamento da amplificação da demanda foi descrito pela primeira vez num artigo da Harvard Business Review por Forrester (1958). O que agora é conhecido como o "efeito Forrester" está ligado principalmente a atrasos e a pobres tomadas

de decisão relacionadas à informação e a fluxo de material. É um gráfico de quantidade contra o tempo que mostra os tamanhos dos lotes de um produto em várias fases do processo de produção (Figura 11). Ele também pode ser usado para mostrar os inventários ao longo da cadeia de fornecimento através do tempo. O objetivo deste mapeamento é esclarecer o efeito Forrester e examinar a programação, políticas de dimensionamento de lote, e as decisões de inventário (Lehtinen e Torkko, 2005).

Esta ferramenta analítica simples pode ser usada para mostrar as mudanças de demanda ao longo da cadeia de abastecimento em vários momentos de tempo. Esta informação pode então ser utilizada como base para a tomada de decisão em uma análise mais aprofundada para tentar redesenhar o fluxo de valor corrente, gerir as flutuações, reduzir ou definir a flutuação.

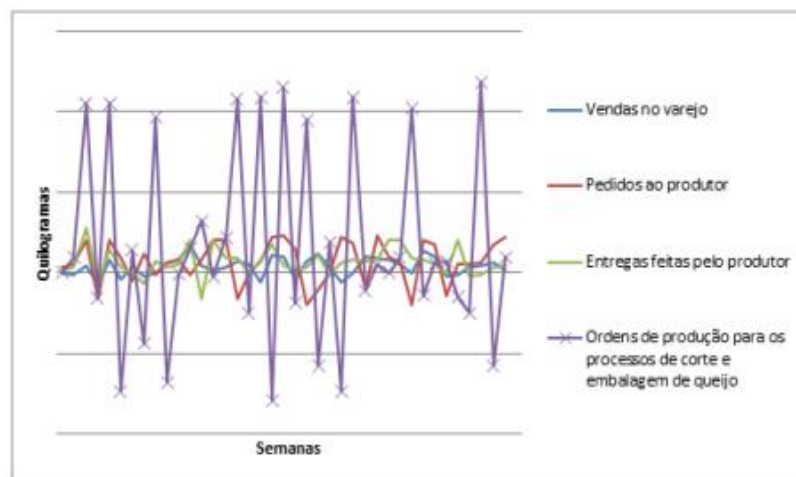


Figura 11 – Mapeamento da amplificação da demanda

De acordo com Hines e Taylor (2000), o método para fazer o mapeamento da amplificação da demanda consiste nas seguintes etapas:

- Etapa 1. Identificar os estágios em que os dados serão coletados. A primeira fase irá normalmente ser as demandas reais feitas pelo cliente. As fases subsequentes são em grandes etapas de produção ou células. Registre os dados do armazém de inventário e depois em cada local de inventário;
- Etapa 2. Identificar os produtos ou peças a serem estudados. Se já foram coletados dados para outros mapas, usar a mesma peça. Caso contrário, selecione uma parte representativa;

- Etapa 3. Decidir sobre o horizonte de tempo para a coleta de dados. O período deve incluir no mínimo três lotes no ciclo de produção mais longo. Por exemplo, se lotes quinzenais são feitos no estágio de prensa, mas a montagem acontece a cada dois dias, então deve-se registrar os dados para três lotes de prensa ao longo de um horizonte de tempo de seis semanas;
- Etapa 4. Decidir sobre o período de análise. Este deve ser um período "típico". Evitar os “picos” e períodos de "baixa", se possível;
- Etapa 5. Coletar dados sobre o tamanho dos lotes e dos estoques. Tomar cuidado sobre isso: estar ciente de que um lote pode levar mais de um dia para produzir. Os dados de inventário podem ou não estar disponíveis, mas pode ser derivada a partir de dimensões de lote ou apenas uma “fotografia” do momento do inventário pode ser feita;
- Etapa 6. Plotar os dados em um gráfico.

2.2.10 Ponto de Análise e Decisão

O ponto de decisão é o ponto na cadeia de abastecimento em que os produtos param de ser feitos de acordo com a demanda real, e são feitos contra as previsões (Hoekstra e Romme, 1992). Em outras palavras, determina onde é o ponto onde o fluxo de valor muda de puxado para empurrado.

Este ponto de decisão pode ser dos centros de distribuição regionais para os centros de distribuição nacionais, através de qualquer ponto dentro do fabricante ou, na verdade, em qualquer nível da cadeia de fornecimento (Figura 12).

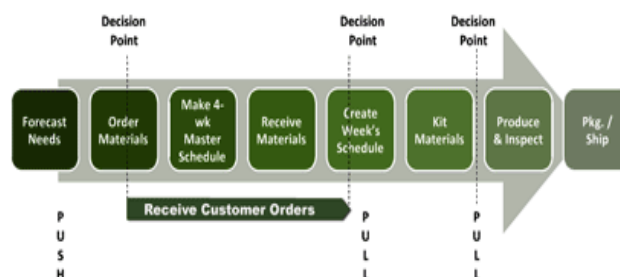


Figura 12 – Ponto de análise de decisão (Hoekstra e Romme, 1992)

Para Hines e Rich (1997) ter o entendimento de onde este ponto se encontra é útil por duas razões:

- Em termos do presente, com essa informação, é possível avaliar a processos que operam tanto a montante e a jusante desse ponto. O objetivo deste é garantir que eles estejam alinhados a filosofia empurrar ou puxar;
- Do ponto de vista de longo prazo, é possível projetar vários cenários para ver o funcionamento do fluxo de valor, se o ponto de decisão é movido. Isto pode permitir uma melhor concepção do próprio fluxo de valor.

2.2.11 Mapeamento da estrutura Física

Mapeamento de estrutura física é uma ferramenta útil na compreensão do que uma cadeia de suprimentos específica se assemelha numa visão geral ou em nível de indústria (Miles, 1961). Este conhecimento é útil no sentido de valorizar o que a indústria parece, a compreensão de como ela funciona e, em particular, para áreas que não podem estar recebendo a atenção suficiente (Hines e Rich, 1997).

A Figura 13 ilustra a ferramenta que é dividida em duas partes: estrutura do volume e estrutura de custos. O primeiro diagrama (Figura 13 (a)) mostra a estrutura da indústria de acordo com as várias camadas que existem tanto na área de fornecedor quanto na área de distribuição, com a montagem localizada no ponto médio. Neste exemplo simples, existem três níveis fornecedores, assim como três níveis de distribuição. Além disso, a área do fornecedor inclui fontes de matérias-primas e outros fornecedores de suporte (tais como ferramentas, equipamentos e empresas de consumo). Este mapa completo da indústria capta todas as empresas envolvidas, com a área de cada parte do diagrama proporcional ao número de empresas em cada camada.

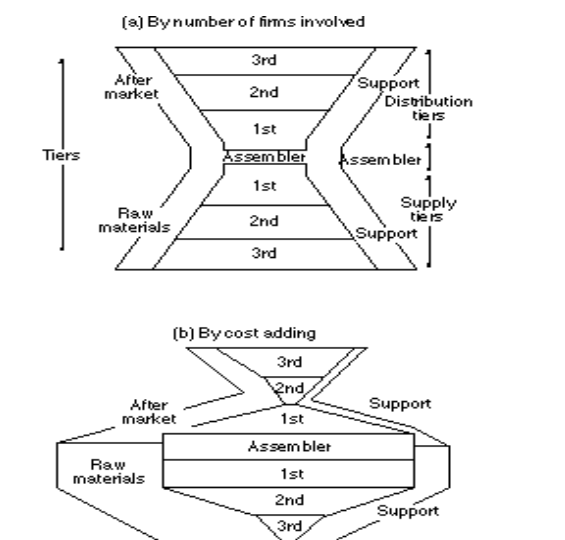


Figura 13 – Mapeamento da estrutura física (Hines e Rick, 1997)

O segundo diagrama (Figura 13 (b)) mapeia a indústria de uma maneira semelhante com as mesmas camadas das organizações. No entanto, em vez de ligar a área do diagrama para o número de empresas envolvidas, este liga diretamente ao processo de valor acrescentado (mais estritamente ao processo de custo). Como pode ser observado neste exemplo, a maior adição de custo ocorre nas empresas de matérias-primas, na primeira camada fornecedores e montagem, respectivamente. A área de distribuição não é vista como sendo uma importante área de de custo acrescentado.

A base para a utilização desta segunda figura, no entanto, é que é então possível analisar o valor acrescentado necessário no produto final, uma vez que é vendido ao consumidor. Assim, de uma maneira semelhante à aplicação da ferramenta mapeamento de actividades do processo, podem ser feitas tentativas para tentar eliminar atividades que são desnecessárias.

2.2.12 Mapeamento do Fluxo de Valor

Os Profissionais de *Lean Manufacturing* costumam usar uma ferramenta de diagnóstico, específica para identificar desperdícios no processo produtivo e para ajudá-los na criação de um plano de ação de melhoria. O objetivo é eliminar, ou pelo menos reduzir, as atividades que não acrescentam valor ao produto (ou seja, desperdício) e que o cliente não está disposto a pagar (Rother e Shook, 2003). Na maioria dos casos essa ferramenta é o *Value Stream Mapping* (VSM) ou mapeamento de fluxo de valor, que auxilia na identificação visual dos recursos produtivos e desperdícios (Tapping *et al*, 2002).

O mapeamento do fluxo de valor ou *Value Stream Mapping* (VSM) é uma adaptação de uma técnica originária na Toyota “diagrama de fluxo de materiais e informação”, pelas mãos de Taiichi Ohno. Naquele momento, o objetivo era alinhar a visão dos fornecedores com os interesses da Toyota, tentando obter melhoria. De acordo com Rother e Shook (2003) o VSM é uma ferramenta utilizada para identificar todos os processos, analisando todas as atividades que acrescentam e que não acrescentam valor, permitindo identificar o tempo de produção e verificar as oportunidades de melhoria e os desperdícios. E com isso, estabelecer as melhorias necessárias para que o tempo de produção seja reduzido, ou seja, ajuda as pessoas a enxergar o que realmente está acontecendo no processo produtivo através da observação direta. Segundo Cudney (2009), o VSM tem o objetivo de descrever os fluxos na cadeia de valor, identificar algumas fontes de desperdício e projetar uma cadeia de valor futura com menos desperdício (Figura 14).

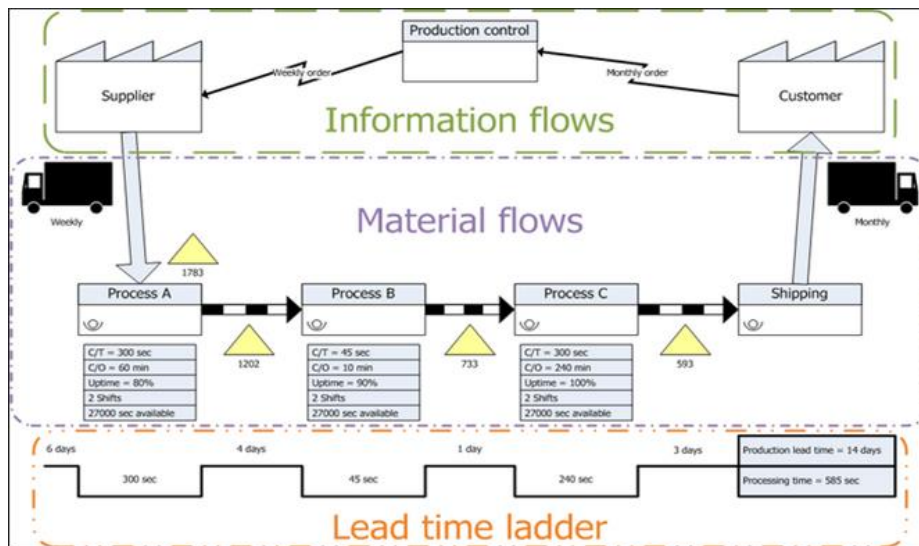


Figura 14 – VSM (Rother e Shook, 2003)

Rother e Shook (2003) definem o VSM como uma ferramenta de *lean* direcionada para a análise de sistemas de produção, por delinear visualmente os fluxos de materiais e informações, oferecendo dados-chave de desempenho em processos produtivos. Diversos autores destacam nas suas publicações, a importância do VSM, na aplicação dos princípios do lean manufacturing (Womack *et al.*, 2004; Abdulmalek e Rajgopbal 2007; Rahani e Muhammad 2012; Teichgraber e Bucourt 2012; e Sá *et al.*, 2011).

As principais vantagens que a metodologia oferece apontadas por Rother e Shook (2003) são as seguintes: ajuda a visualizar mais do que os processos individuais; possibilita visualizar o fluxo; ajuda a identificar os desperdícios e suas fontes dentro do fluxo; fornece uma linguagem comum para tratar os processos de manufatura, sendo entendido por todos (utiliza ícones padronizados de fácil compreensão); torna as decisões sobre o fluxo visíveis e passíveis de discussão; junta conceitos e técnicas *lean*, propiciando a sua implementação de forma estruturada e integrada e não de forma isolada; forma uma base para o plano de implantação da mentalidade *lean*, sendo comparado a uma planta no processo de construção de uma casa; evidencia a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material; é uma ferramenta qualitativa que descreve, em detalhes, qual é o caminho para a unidade produtiva operar em fluxo.

De acordo com Rother e Shook (2003), a aplicação prática do VSM devem seguir três fases:

- 1ª fase: seleção de uma família de produtos, formada por produtos que passam por etapas similares de processamento e usam máquinas/equipamentos semelhantes em seus processos;
- 2ª fase: mapear e esboçar os estados atual e futuro, a partir de coletas de informações no chão de fábrica. As ideias sobre o estado futuro virão à tona durante o mapeamento do estado atual, do mesmo modo, ao desenhar o estado futuro mostrará frequentemente importantes informações sobre o estado atual que passaram despercebidas anteriormente;
- 3ª fase: desenvolver um projeto para levar da situação atual até à situação futura esboçada. O ideal é um plano breve e sintético de modo a encorajar a implementação. Conforme se aproxima do estado futuro, repete-se o processo de mapeamento. Esta é a melhoria contínua no nível do fluxo de valor.

O VSM pode ser facilmente explicado da seguinte forma: acompanhe o caminho da produção de uma família de produtos de porta-a-porta da fábrica, do cliente ao fornecedor, e desenhe o mapa de estado atual com seus fluxos de material e de informação. A seguir desenvolva o mapa de estado futuro, mostrando como o valor deveria fluir, seguindo os fluxos futuros de material e informação melhorados.

Conforme é possível observar na Figura 14, o fluxo de material é desenhado na parte inferior do mapa, no sentido da esquerda para direita. À medida que se segue o fluxo de material de uma família de produtos, poderão ser identificados lugares onde o estoque se concentra. Esses pontos são interessantes para serem desenhados no mapa do estado atual, pois eles indicam onde o fluxo está parando. O fluxo de informação é desenhado na parte superior dos mapas, no sentido da direita para esquerda. Verificando como cada processo é informado sobre o que fazer e quando fazer para o processo seguinte.

Rother e Shook (2003) definem que os processos produtivos desenhados no VSM deverão ser adequadamente identificados e coletadas algumas informações básicas. Essas informações, por sua vez, serão colocadas em caixa de dados padrão que poderão englobar os seguintes itens: *Cycle Time* (C/T) ou tempo de ciclo, que é o tempo entre uma peça e a próxima saírem do mesmo processo; *Change Over* (C/O) ou tempo de troca ou tempo de *setup*, é o tempo gasto para trocar de um tipo de produto para o outro; Número de pessoas necessárias para operar o processo; *Shifts* que é o número de turnos de trabalho que o processo funciona, entre outros.

Para Queiroz *et al.* (2004), para que o mapa do estado futuro alcance o fluxo de valor *lean* da matéria-prima ao produto acabado é essencial seguir algumas regras coerentes com os princípios lean:

- Regra 1. Produzir conforme o *takt time*; ou seja, produzir uma peça ou produto no ritmo das vendas, para atender a demanda dos clientes. O *takt time* é calculado dividindo-se o tempo disponível de trabalho pela demanda do cliente pelo. É um número de referência que dá uma ideia do ritmo em que cada processo precisa estar produzindo e ajuda a enxergar como as coisas estão indo e o que precisa ser feito para melhorar. Produzir conforme o *takt time* parece simples, mas requer um esforço para: fornecer resposta rápida para problemas; eliminar as causas de paragens de máquinas não planejadas e eliminar tempos de troca em processos posteriores;
- Regra 2. Desenvolver um fluxo contínuo quando possível; significa produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio para o outro sem nenhuma parada entre eles. O fluxo contínuo é o mais eficiente modo de produzir, e é preciso usar muita criatividade ao tentar implementá-lo;
- Regra 3. Utilizar supermercado para controlar a produção; há pontos no fluxo de valor onde o fluxo contínuo não é possível e fabricar em lotes é necessário. Pode haver muitas razões para isto, incluindo: alguns processos são projetados para operar em ciclos de tempo muito rápidos ou lentos e necessitam mudar com o tempo para atender a múltiplos fluxos de valor; alguns processos como os localizados nos fornecedores estão distantes e o transporte de uma peça de cada vez não é realista; Alguns processos tem *lead time* muito elevado ou não são muito confiáveis para ligarem-se diretamente a outros processos em um fluxo contínuo. No chão de fábrica, os supermercados devem normalmente estar localizados próximos ao processo de fornecimento para ajudar aquele processo a ter uma noção visual das necessidades e usos do cliente. O responsável pela movimentação de material do processo “cliente” vem então ao supermercado do fornecedor e retira o que precisa. Estas retiradas acionam o movimento do *kanban* desde o supermercado até o processo fornecedor, onde eles são usados como única instrução de produção para aquele processo;
- Regra 4. Procurar enviar a programação do cliente para apenas um processo de produção; através do uso do sistema puxado com supermercado, somente será necessário programar um ponto no fluxo de valor porta-a-porta. Este ponto é chamado de processo puxador, porque a maneira que a produção é controlada neste processo, é

definido o ritmo para todos os processos anteriores. A seleção deste ponto de programação também determina quais elementos do fluxo de valor tornam-se parte do *lead-time*, do pedido do cliente até o produto acabado;

- Regra 5. Nivelar o mix de produção; significa distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período de tempo. Por exemplo, ao invés de montar todos os produtos “tipo A” pela manhã e todos os “tipo B” pela tarde, nivelar significa alternar repetidamente entre menores lotes de “A” e “B”. Ao nivelar o mix de produtos no processo puxador, é possível responder às diferentes solicitações dos clientes com um pequeno lead time enquanto mantém um pequeno estoque de produtos acabados. Isto também permite que o supermercado seja menor. É importante ressaltar que nivelar o mix requer um pouco de sacrifício na montagem, tais como mais trocas e esforço para manter todas as variações de componentes na linha durante todo o tempo. A recompensa é a eliminação de grandes quantidades de desperdício no fluxo de valor;
- Regra 6. Nivelar o volume de produção; Muitas empresas liberam grandes lotes de trabalho para os seus processos no chão de fábrica, o que causa vários problemas: Não há uma noção de *takt time* e nenhuma “puxada” à qual o fluxo de valor possa responder; O volume de trabalho realizado normalmente ocorre de forma irregular no decorrer do tempo, com picos e depressões que causam sobrecarga extra nas máquinas, pessoas e supermercados; A situação se torna difícil de monitorar, pois não é possível saber se está atrasado ou adiantado; Com uma grande quantidade de trabalho liberado para o chão de fábrica, cada processo no fluxo de valor pode alterar a sequência dos pedidos. Isto aumenta o *lead time* e a necessidade de acelerar; Responder às mudanças dos pedidos dos clientes torna-se muito complicado, o que pode frequentemente ser visto em fluxo de informação muito complexo nos desenhos do estado atual; Estabelecer um ritmo de produção consistente ou nivelado cria um fluxo de produção previsível que, por sua natureza, alerta para os problemas de tal modo a se tomar rápidas ações corretivas; Desenvolver a habilidade de fazer toda peça todo dia, depois a cada turno, a cada hora. Através da redução dos tempos de troca e produzindo lotes menores nos processos anteriores, esses processos serão capazes de responder as mudanças posteriores necessárias mais rapidamente. Por sua vez, eles irão requerer ainda menos estoques nos supermercados.

Lasa, Castro e Laburu (2009), definiram como pontos chaves para garantir o sucesso da aplicação do VSM os seguintes aspectos:

- Ter uma equipe pronta com papéis estabelecidos de acordo com o que o VSM aconselha;
- A necessidade de envolver a gestão na tomada de decisões e mostrar a importância do projeto para a empresa;
- Monitorização exhaustiva das fases do VSM;
- Reservar um tempo para a dedicação exigida para a aplicação do VSM;
- A importância dos sistemas de informação para obter, comparar e processar dados relativos ao fluxo de produção. Este recurso é de grande valor por duas principais razões: por um lado, acelera o processo de aquisição de dados para o desenho do mapa de estado atual e, por outro, subscreve os dados obtidos na própria fábrica;
- Finalmente, é necessário destacar a formação da equipe para ser capaz de alcançar mais ambiciosos mapas de estado futuro, o que incluiria mais conceitos inovadores do paradigma da produção *lean*, bem como outros contextos conceituais tais como a abordagem do *Theory of Constraints* (TOC).

Mesmo o VSM sendo uma ferramenta fundamental na implementação da filosofia *Lean* pelas vantagens que proporciona, esta apresenta algumas limitações. De acordo com Sá (2010) e Nogueira (2010), o VSM apresenta as seguintes limitações: não permite representar produtos com fluxos produtivos diferentes; dificuldades em transmitir a utilização do VSM a pessoas que não estão familiarizadas com a ferramenta; falta de indicadores gráficos para os problemas de transporte, filas de espera e de distâncias devido ao *layout*; não possui indicadores económicos; não permite visualizar o *layout*; não reflete a lista de materiais de um produto. Demais autores também descreveram em suas publicações as limitações do VSM (Lian e Van Landeghem, 2007; Serrano *et al.*, 2008; Xinyu e Jian, 2009; Kemper *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2011; Teichgraeber e Bucourt, 2012). Entretanto, atualmente o VSM é sem dúvida o método mais utilizado para representar o fluxo de materiais num sistema produtivo. Alguns autores desenvolveram adaptações/alternativas para a ferramenta tradicional. Irani e Zhou (1999) criaram o *Value Network Mapping* (VNM) e Braglia *et al.* (2006) desenvolveu o *Improved Value Stream Mapping* (IVSM). Em 2012, Villarreal (2012), adaptou o VSM para o sistema de transportes, e o chamou de *Transportation Value Stream Mapping* (TVSM). Também foi feita uma ligação entre o VSM e uma ferramenta de simulação no trabalho de

Lian and Van Landeghem (2007) a qual foi chamado de *Simulation-based Value Stream Mapping* (SimVSM), e no de Shararah *et al.*, (2010) o *Value Stream Mapping Simulation using ExtendSim* (VSMSx).

2.2.13 Comparação das ferramentas

A Tabela 1 mostra uma tentativa para avaliar e comparar as ferramentas relatadas anteriormente de acordo com os seguintes critérios: (1) eficácia visual; (2) abrangência; (3) tipos de desperdícios cobertos e (4) avaliação de desperdícios. Baseado na literatura pesquisada o autor fez uma avaliação das ferramentas com relação a critérios relevantes e comuns a todas elas.

O critério "eficácia visual" tem como objetivo mensurar a quantidade e qualidade da informação que é detectada apenas olhando para a informação gráfica. Por outras palavras, mede a facilidade com que é interpretada a informação visual. O critério de "abrangência" mede a quantidade de diferentes tipos de informações de produção que é coberta pela ferramenta. O critério "tipos de desperdícios cobertos" é focado em identificar quais os tipos de desperdícios de produção, a partir do conjunto de sete tipos de desperdícios clássicos, como definido por Ohno (1988), são cobertos com a ferramenta. Finalmente, o critério "avaliação de desperdícios" é focado na capacidade da ferramenta na avaliação de desperdícios. O "score" representa a soma das pontuações de cada critério individual. Para cada critério, o autor atribuiu um valor de 1 a 5, onde 1 corresponde ao menor desempenho e 5 correspondente ao maior desempenho.

Tabela 1 Avaliação das ferramentas

Tools	Visual Effectiveness	Comprehensiveness	Waste Types Covered	Wastes Assessment	Score total
Flow Process Chart (ASME, 1947)	3	1	2	1	7
Flowchart Map (Barnes, 1968)	4	2	2	1	9
Spaghetti Diagram (Neumann and Medbo 2010)	5	1	1	1	8
Model of Supply Chain and Waste (Hicks et al, 2004)	2	3	2	3	10
Process Activity Mapping (Barnes, 1968)	3	1	2	1	7
Supply Chain Response Matrix (New, 1993)	2	1	1	2	6
Production Variety Funnel (New,1974)	4	1	1	1	7

Quality Filter Mapping (Hines and Rich, 1997)	3	1	1	1	6
Demand Amplification Mapping (Forrester, 1958)	4	1	1	1	7
Decision Point Analysis (Hoekstra e Romme, 1992)	3	1	1.	1	6
Physical Structure (Miles, 1961)	3	1	1	1	6
Value Stream Mapping (Rother e Shook, 1999)	3	4	3	3	13
Waste Identification Diagram (Dinis-Carvalho et al, 2014)	5	5	4	4	18

A ferramenta com segundo maior score foi a *Value stream mapping* (Total 13) na qual recebeu pontuação 3 nos critérios eficácia visual, tipos de desperdícios cobertos e avaliação de desperdícios, recebendo pontuação 4 no critério abrangência.

Já a ferramenta *Waste Identification Diagrams*, que será descrita no capítulo a seguir, recebeu o maior score (Total 18) na qual recebeu pontuação 4 nos critérios tipos de desperdícios cobertos e avaliação de desperdícios, e pontuação 5 nos critérios eficácia visual e abrangência.

3. WASTE IDENTIFICATION DIAGRAM (WID)

Para tentar resolver ou minimizar algumas das limitações das ferramentas de representação visual de unidades produtivas principalmente o VSM, esta investigação busca a utilização de um novo diagrama denominado de *Waste Identification Diagram* (WID). O WID é uma ferramenta inovadora, que está sendo desenvolvida pelo Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

Departamento este que está continuamente envolvido em projetos na indústria, com foco na melhoria do desempenho da produção e competitividade. Esses projetos incluem análise de fluxo de materiais, avaliação de desempenho, mudanças de *layout*, redução de desperdícios, sistemas de produção, sistemas de produção puxada, redução de tempo de *setup* e assim por diante. A necessidade comum na maioria desses projetos é a descrição de uma unidade de produção antes e depois do projeto, a fim de mostrar as diferenças e ganhos. Efetivamente descrever as unidades de produção, a fim de comunicar informações importantes nas várias dimensões. O desenvolvimento de um modelo gráfico padrão capaz de descrever unidades de produção e conter os dados mais relevantes, a partir da perspectiva da engenharia industrial, tornou-se uma importante meta a ser alcançada. Uma vez que nem o VSM nem qualquer outra ferramenta publicada poderia alcançar as necessidades identificadas, com isso foi necessário desenvolver esta nova ferramenta o WID.

Neste capítulo será apresentado e explanado o conceito do WID básico com todas as suas componentes (bloco, setas, gráfico de pizza e tabela de indicadores) que serviu como base para o desenvolvimento do novo modelo de WID. Em seguida é apresentada a proposta de inclusão dos parâmetros do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) no WID, ou seja, as paragens planeadas, paragens não planeadas, perdas de velocidade e qualidade compondo o bloco do WID. E finalizando o capítulo é apresentado o desenvolvimento e aplicação desta nova proposta do WID/OEE numa empresa de semicondutores do segmento eletrónico, mostrando os resultados e conclusões obtidos após a análise, diagnóstico e representação deste novo modelo de representação gráfica.

3.1 O WID Básico

Segundo Dinis-Carvalho, Moreira, Bragança, Costa, and Alves (2014), o desafio inicial proposto foi desenvolver uma ferramenta de diagrama capaz de:

- Representar as unidades inteiras de produção, não apenas um fluxo de uma família de produtos em particular;
- Representar todos os fluxos de produção na unidade de produção;
- Mostrar e avaliar todos os tipos de desperdícios de forma visual e intuitiva;
- Fornecer informação visual efetiva;
- Fornecer informações sobre o desempenho;
- Ser uma ferramenta de referência para a melhoria contínua;

Depois de alguns anos de experimentação em unidades de produção reais, bem como várias teses de mestrado sobre o assunto, e depois de coletar o *feedback* da indústria, foi desenvolvida uma proposta do WID. Os diagramas propostos são compostos basicamente por quatro tipos principais de componentes: blocos, setas, gráficos de pizza e tabela de indicadores. Os blocos representam estações, como uma máquina, uma estação de trabalho ou um grupo de máquinas/estações de trabalho, as setas representam o esforço de transporte, o gráfico de pizza mostra como a mão de obra é usada no tempo e a tabela de indicadores que representa o desempenho da unidade da produção.

As dimensões do bloco devem ser desenhadas em escala para dar informação visual importante sobre a ordem de grandeza do que se pretende representar.

A largura do bloco representa o WIP: refere-se à quantidade de produtos que estão à espera para serem processados na estação de trabalho em causa. A quantidade de produtos em curso associados a uma determinada estação de trabalho não é apenas referente aos produtos estacionados na zona de entrada dessa estação mas todos os que, embora podendo estar estacionados noutros locais, terão a próxima operação nessa estação de trabalho. Deve ser usado um valor de WIP que represente o estado mais comum, podendo ser obtido pela média de várias observações em períodos de normalidade da produção.

A altura total (TT) representa o *Takt Time*: o tempo *Takt* pode ser definido como o ritmo da procura e serve de referência para se adaptar o melhor possível o ritmo da produção, definido pelo tempo de ciclo, ao ritmo da procura. Para a determinação do valor do tempo *takt* é necessário conhecer a quantidade planeada a ser produzida para satisfazer a procura, (vamos chamar quantidade requerida para um dia, ou Q_r), e o tempo disponível da estação de trabalho para produzir durante um dia normal (vamos chamar tempo disponível para produção (T_{dp})). De acordo com Chen e Christy (1998) podemos determinar o valor do tempo *takt* da seguinte forma:

$$T_T = \frac{Tdp}{Qr} \quad (1)$$

Com estas duas dimensões apresenta-se de forma clara a área frontal do bloco representando o prazo de entrega ou tempo de atravessamento (*Throughput time ou Lead Time*) desse processo (lei de *Little* – $TA=WIP*TT$) (Little, 1961). Desta forma grandes áreas significam grandes tempos de atravessamento.

A altura da área cinza, na mesma figura, representa o Tempo da estação: O tempo de processamento da estação de trabalho (ou apenas tempo da estação) está relacionado com a capacidade do processo, ou seja, com a velocidade com que a máquina ou estação de trabalho é capaz de produzir os produtos. Desta forma gráfica fica claro o excesso de capacidade dos processos. Um processo crítico terá obviamente a altura cinza a cobrir quase a totalidade da altura do bloco. É importante referir que em processos críticos poderá ser necessário maiores níveis de WIP a montante uma vez que esse tipo de processo nunca deve parar por falta de material para processamento.

A espessura ou profundidade do bloco representa o Tempo *setup*: o tempo de preparação, de *Setup* ou de *Change Over (C/O)* é o tempo de mudança de ferramentas da máquina (estação de trabalho) que terá de ser gasto quando se muda de produto. Sempre que o tempo de mudança não seja sempre constante deverá mais uma vez usar-se um valor representativo. Esta dimensão poderá em alguns casos influenciar a dimensão do WIP uma vez que em processos com tempos altos de troca de ferramentas forçam a criação de WIP a montante. É importante notar que em muitos casos também a influência é notada a jusante e não a montante desse processo. Este assunto tem a sua relevância no entendimento do comportamento dos fluxos de produção ao longo de unidades produtivas. (Figura 15) (Sá, Carvalho e Sousa, 2011).

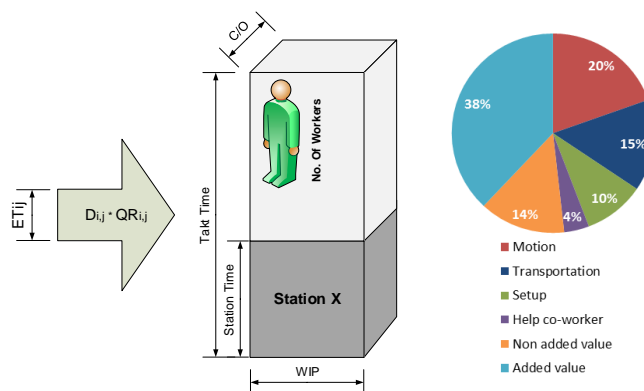


Figura 15 – WID (Dinis-Carvalho et al, 2014)

As setas representam o esforço de transporte: o conceito de esforço de transporte é um conceito que surge da necessidade de se avaliar com a melhor eficácia possível os desperdícios com transportes. Muito frequentemente o desperdício com transporte é avaliado apenas usando os valores das distâncias percorridas mas aqui dá-se também importância às quantidades transportadas. O esforço de transporte é determinado aqui da seguinte forma:

$$ET_{i,j} = QR_{i,j} * D_{i,j} \quad (2)$$

Sendo:

- $ET_{i,j}$ o esforço diário de transporte entre o fornecedor i para o cliente j ;
- $QR_{i,j}$ a quantidade a transportar diariamente entre o fornecedor i para o cliente j ;
- $D_{i,j}$ a distância a percorrer pelos produtos entre o fornecedor i para o cliente j .

A quantidade de produtos pode ser medida em kg, em paletas, em caixas ou em qualquer unidade que melhor se adequa a cada caso. A distância é frequentemente medida em metros.

O esforço de transporte associado a uma estação de trabalho é neste modelo, e por convenção, o esforço de transporte requerido num determinado período (dia, semana, mês ou ano) para transportar todos os materiais desde os seus fornecedores (estações a montante) até si. Desta forma, o esforço de transporte associado à estação A é determinado da seguinte forma:

$$ET_A = \sum_{i=1}^f ET_{i,A} \quad (3)$$

Sendo f o número de fornecedores da estação A.

É importante notar que em média, a soma das quantidades transportadas por dia para a estação A é igual à quantidade requerida para processamento por dia nessa estação.

$$QR_A = \sum_{i=1}^f QR_{i,A} \quad (4)$$

Sendo f o número de fornecedores da estação A.

Este indicador assume um interesse particular para a estimativa dos custos associados ao desperdício com transportes. Ao estimarmos um valor para cada unidade de esforço de transporte (digamos para um kg*m) será muito fácil determinar o custo mensal ou anual que a empresa gasta com este desperdício.

O gráfico de pizza representa o desperdício com a mão-de-obra e está relacionado com o tempo gasto pelos trabalhadores em diferentes tipos de operações. Os valores são obtidos utilizando técnicas de amostragem de trabalho (Barnes, 1968). A amostragem do trabalho foi desenvolvida na Inglaterra por L.Tippet em 1927 e pode ser definida como sendo uma técnica estatística para determinar a proporção de tempo gasta pelos trabalhadores nas diversas categorias de atividades (Groover, 2007). Exemplos de categorias de atividades são: transporte, montagem, embalagem, espera, etc.

A amostragem do trabalho parte do princípio de que a percentagem de tempo gasto por um operário num determinado tipo de operação pode ser determinada fazendo um grande número de observações instantâneas e em momentos aleatórios ao longo de um período de tempo. O número de observações é determinado pela seguinte equação:

$$N = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{E^2} \quad (5)$$

Sendo:

- N – número de observações;
- p – probabilidade de ocorrência da atividade;
- Z – Nível de confiança;
- E – Erro.

Para que a amostragem seja eficaz é necessário que o analista (observador) prepare muito bem a forma como as amostragens serão realizadas. O analista deve gastar algum tempo a observar a produção e as pessoas envolvidas com o objetivo de:

- Classificar os tipos de operações (com ou sem valor acrescentado) que têm lugar nessa unidade produtiva;
- Conhecer os tipos de rotinas dos operários;
- Conhecer as movimentações típicas dos operários;

- Conhecer a que processos estão associados cada um dos operários e seus locais habituais.

Além deste tipo de preparação é necessário ter uma estratégia para definir a rotina a usar em cada amostragem. É necessário definir:

- O percurso a ser percorrido pelo analista sempre que faz as observações na unidade produtiva;
- Em que pontos, ao longo do percurso, deve o analista definir para fazer a observação instantânea de cada operário;
- O número de ciclos para fazer o percurso (com validade estatística). Em cada ciclo, o analista percorre a rota (percurso) definida para fazer as observações, uma a cada colaborador, registrando o tipo de tarefa que no momento está a ser levada a cabo;
- Os dias para cada ciclo de observações (exemplo: 20 ciclos na 2ª feira, 20 ciclos na 4ª feira e mais 20 ciclos na 6ª feira);
- Os instantes para cada ciclo – Pode ser construído um plano com os instantes determinados previamente de forma aleatória ao longo do dia, ou pode o analista fazer os ciclos de observações em momentos aleatórios ao longo do dia.

No final desta fase teremos uma ficha para preencher em cada observação bem como a definição do percurso a ser percorrido, os pontos de paragem para observação e a estratégia de observação (Tabela 2).

Tabela 2 - Exemplo de ficha usada para amostragem de trabalho

Registo de observações da unidade: Serralharia 6									
Ob. nº	Data / hora	Op. Val Ac	Mov	Transp	Esper	Process. Exces.	Retrab.	Outro	Ausente
1	20.Fev/9:34	xxxx	X	xx	xx	X	x		x
2	20.Fev/9:40	xxxx		x	xxx		xx		
3	20.Fev/10:10	xxxx	Xx		xx	X			xx
...	21.Fev/15:15	...							
11	22.Fev/11:56	...							
12	22.Fev/12:25								
...									
...	...								
...	...								
Total		156	80	39	24	34	29	23	5

Interessa notar que o objetivo das observações não é determinar como cada pessoa passa o seu tempo mas qual a percentagem do tempo disponível das pessoas (colaboradores) é tipicamente gasta em média em cada um dos diferentes tipos de atividades.

Assumindo para a equação (5) os valores de 95% para o nível de confiança e um erro de 5% ainda fica por definir o valor esperado de “p” para o tipo de operação a observar. Como neste caso são vários os tipos de operações a observar ao mesmo tempo é proposto que se faça o número de observações para o caso mais exigente. Isso acontece quando se trata de uma operação com 50% de probabilidade associada.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.05^2} = 384$$

Como o pior cenário resulta na necessidade de se fazerem 384 observações então o número de ciclos para o pior cenário é apenas função do número de colaboradores a observar. Vejamos um exemplo:

Numa unidade produtiva com 10 colaboradores seria necessário fazerem-se 39 ciclos de observações. Nestas condições seriam efetuadas 390 observações o que sendo acima das 384 observações necessárias para o pior cenário.

Em cada observação o analista percorre sistematicamente o mesmo circuito com a mesma rotina de observação. À medida que observa cada colaborador anota na ficha de amostragem o tipo de operação na coluna correspondente com uma cruz ou com um traço. No final somam-se as observações que resultaram para cada tipo de atividade. Para o exemplo anterior (Tabela 2) se em 80 das 390 observações, o operador no momento em que foi observado, se encontrava em algum tipo de movimentação, quer dizer que 21% (80/390) do tempo dos 10 colaboradores é gasto em movimentações. Outra leitura que se podem fazer desta mesma informação é que num dia de 460 minutos de trabalho são usados só em movimentações 97 minutos da mão-de-obra disponível.

Nos diagramas WID a informação recolhida nas observações será representada num diagrama circular como o apresentado na Figura 16. Os valores apresentados nessa figura são relativos aos dados da última linha da Tabela 2. Nessa figura temos do lado esquerdo os valores em percentagem e do lado direito o custo mensal assumindo 10 colaboradores a um custo mensal para a empresa de 800€ por trabalhador.

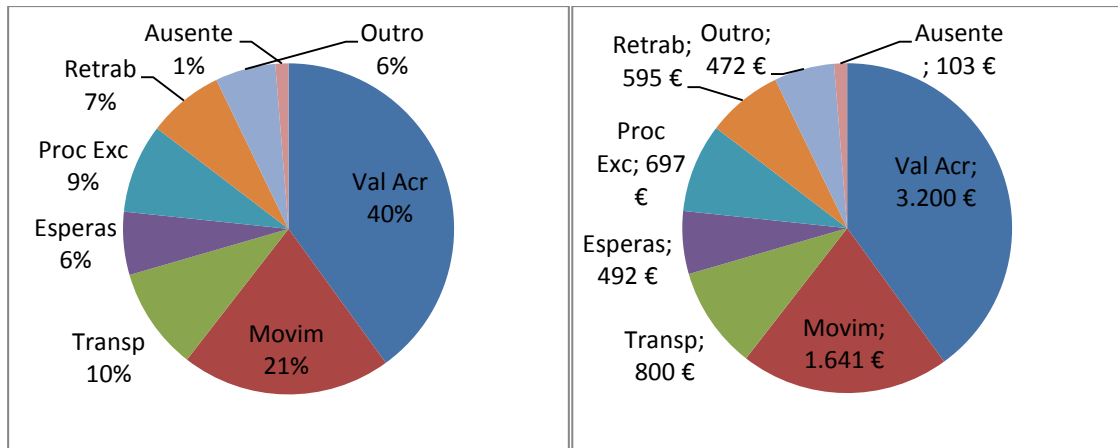


Figura 16 - Utilização da Mão-de-obra (Percentual e Custo)

Dinis-Carvalho et al., (2014) aplicaram o WID numa unidade de produção cujo produto são portas de elevador, e foi possível visualizar uma variedade de informações visuais de grande relevância relacionadas à produção tais como: fluxos de materiais, medidas quantitativas para cada estação (tempo *takt*, o tempo de troca, tempo de ciclo e WIP), utilização de trabalhadores em atividades que acrescentam valor e atividades sem valor acrescentado e indicadores-chave do sistema como: desempenho, produtividade, utilização de recursos e tempo de produção (Figura 17).

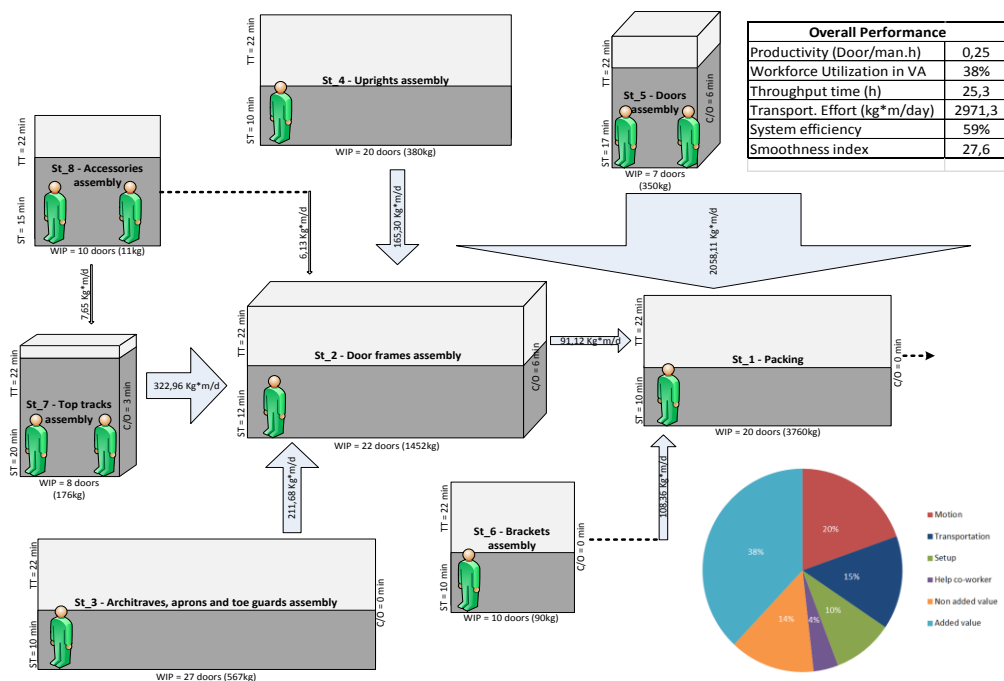


Figura 17 - WID Fabricante de Portas de Elevador (Dinis-Carvalho et al, 2014)

Com relação ao quadro de desempenho geral da unidade de produção que é apresentado no canto superior direito da Figura 17, o analista decide quais indicadores de desempenho devem ser exibidos no diagrama, até mesmo se os dados relevantes não forem apresentados no diagrama. Neste caso, no entanto, todos os indicadores apresentados foram obtidos a partir das informações disponíveis no WID correspondente (Dinis-Carvalho et al., 2014). Os indicadores de desempenho escolhidos para esta unidade de produção foram:

- a) Produtividade (*Productivity*). A produtividade avalia a relação entre os resultados e a quantidade de recursos necessários. Se com os mesmos recursos se conseguem mais resultados quer dizer que a produtividade aumentou. No fundo mede a eficiência com que se usam os recursos. Como as pessoas são o recurso mais importante e na generalidade dos casos, o recurso mais caro, é muito comum avaliarmos a produtividade em relação a este recurso. A produtividade pode ser prevista para um determinado cenário futuro (produtividade prevista) ou pode ser determinada de acordo com o que já ocorreu (produtividade observada). Neste nosso modelo a produtividade esperada é determinada da seguinte forma:

$$Pr_{(e)} = \frac{Qr}{Nop * Tdp} \quad (6)$$

Sendo:

- $Pr_{(e)}$ – Produtividade esperada;
- Qr – Quantidade requerida ou planeada;
- Nop – Número de operários e
- Tdp – Tempo disponível para produção.

Mas como sabemos as coisas nunca correm exatamente como o planejado. Sendo assim, quando chegamos ao fim de um dia de trabalho, podemos determinar qual foi de facto a produtividade conseguida. Para isto basta contar os produtos produzidos e sem defeitos (QP – Quantidade Produzida) e usar esse valor na equação seguinte:

$$Pr_{(o)} = \frac{Qp}{Nop * Tdp} \quad (7)$$

Sendo:

- $Pr_{(o)}$ – Produtividade observada;
- Qp - Quantidade de produtos bons efetivamente produzida;

- Nop - Número de operários e
- Tdp - Tempo efetivamente disponível para produção.

É muito frequente que a quantidade observada de produtos bons ao fim do dia seja menor do que a quantidade planeada ou requerida Qr para esse mesmo dia. As razões dessa diferença são conhecidas pela generalidade das pessoas. Acontecem imprevistos como atrasos, avarias, erros nos materiais, cansaço, falta de motivação, etc;

b) Utilização da mão-de-obra a acrescentar valor (*Workforce utilization in VA*). É obtida diretamente através do gráfico de pizza de utilização de mão-de-obra;

c) Tempo de atravessamento (*Throughput time*). O Tempo de Atravessamento de uma unidade produtiva constituída por estações de trabalho em série não é mais do que o somatório dos tempos de atravessamentos de todas as estações de trabalho que a compõem.

$$Ta = \sum_{i=1}^m (WIP_i * T_T) = WIP_s * T_T \quad (8)$$

Sendo:

- T_a – Tempo de atravessamento; m – N° de estações de trabalho;
- WIP_i – *Work In Process* – Quantidade de produtos em curso na estação de trabalho i ;
- WIP_s – *Work In Process* – Quantidade de produtos em curso em todo o sistema;
- T_T – *Takt Time* – Ritmo da procura;

Como podemos observar pela equação anterior, o tempo de atravessamento de uma linha é determinado pelo somatório dos vários WIP da linha multiplicado pelo tempo *takt* da mesma linha;

e) O esforço de transporte global (*Transport effort*). O esforço de transporte é para este caso como para qualquer outro caso com várias estações de trabalho em série ou não, obtido através da soma de todos os esforços de transporte individuais;

f) Eficiência do sistema (*System Efficiency*). O conceito de eficiência de um sistema deste tipo (Es) é o mesmo conceito que na literatura dedicada ao problema de balanceamento de linhas (*Line Balancing Problem*) é conhecido por *Line Efficiency* (Bedworth and Bailey, 1987). Este indicador mede a percentagem do tempo disponível em cada estação de trabalho da linha que é usada em média a acrescentar valor. Aqui também vamos considerar o valor esperado para esse indicador da seguinte forma:

$$ES_{(e)} = \frac{\sum_{i=1}^m Te_i}{Tc \times m} \quad (9)$$

Sendo:

- $ES_{(e)}$ – Eficiência esperada para o sistema;
- m – N° de estações de trabalho ;
- Te_i – Tempo da estação i ;
- Tc – Tempo de ciclo do sistema.

Este indicador pode ser também determinado tendo como referência o tempo *takt* bastando para isso substituir na equação o Tc por Tt .

Na mesma linha de raciocínio que fizemos anteriormente podemos também estar interessados em avaliar a eficiência do sistema no final de um período de trabalho. Neste caso trata-se da eficiência observada do sistema e é obtida da seguinte forma:

$$ES_{(o)} = \frac{Qp \times \sum_{i=1}^m Te_i}{Tdp \times m} \quad (10)$$

Sendo:

- $ES_{(o)}$ – Eficiência observada para o sistema;
- Qp - Quantidade de produtos bons efetivamente produzida;
- m – N° de estações de trabalho;
- Te_i – Tempo da estação i ;
- Tdp - Tempo efetivamente disponível para produção.

A eficiência máxima para uma linha é de 100%.

g) Índice de planura (*Smoothness Index*). Definido por Scholl (1995), mede a similaridade da distribuição de trabalho pelas estações de trabalho. Se todas as estações de trabalho numa linha tivessem o mesmo valor de Te então teríamos uma linha com um índice de planura de zero.

$$IP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Tc - Te_i)^2}{m}} \quad (11)$$

Sendo:

- IP – Índice de planura;
- T_c – Tempo de ciclo do sistema (Linha ou célula);
- m – N° de estações de trabalho;
- Te_i – Tempo da estação i .

Este indicador é raramente utilizado nas empresas e a sua utilização pode até ser controversa. Adotar este indicador pode desencorajar a redução do tempo de apenas uma das estações de trabalho e de fato em ambientes de melhoria contínua esta prática deve ser assumida. Uma linha perfeitamente balanceada (ou equilibrada) teria um índice de planura igual a zero;

h) Rácio de Valor Acrescentado. Este indicador apesar de não constar no WID representado na Figura 17, ele também pode ser utilizado e mede a relação que existe entre o tempo que um produto gasta em operações que lhe acrescentam valor e o tempo que o mesmo produto demora a atravessar o sistema (Shannon, 1997). Este rácio embora nem sempre valorizado devidamente é um indicador muito interessante da qualidade da organização e da gestão da nossa produção. Quanto maior for o valor deste indicador mais saudável e mais competitiva é, em princípio, a unidade produtiva em causa. Para o caso de uma única estação de trabalho temos o seguinte:

$$Rva = \frac{Te}{WIP * T_T} \quad (12)$$

Sendo:

- Rva – Rácio de valor acrescentado;
- Te – Tempo de processamento na estação de trabalho;
- WIP – Quantidade de produtos em curso de fabrico;
- T_T – Tempo *takt*.

Os valores de referência deste rácio são muito dependentes da tipologia de produção, mas apesar de 5% ser bastante usado como referência (Productivity Press Development Team, 1998) são poucas as empresas que conseguem superar este valor. Muitos outros indicadores podem ser usados de acordo com o que é mais importante para medir, em cada caso. Em muitos casos, os indicadores de desempenho relacionados à qualidade, à segurança ou à satisfação do cliente também são muito importantes para serem mostrados. Mas para esta tese vamos utilizar somente os indicadores apresentados.

De acordo com (Dinis-Carvalho et al., 2014) a abordagem a ser seguida, a fim de construir um diagrama WID inclui três fases principais. A primeira fase está relacionada com os fluxos

de produção, a segunda fase está relacionada com as actividades dos operadores e a fase final está relacionada a avaliação de desempenho. A primeira fase inclui a os seguintes passos:

- Identificar claramente a unidade de produção – onde começa e onde termina fisicamente; quais recursos estão incluídos; as pessoas envolvidas; áreas de armazenamento; etc;
- Identificar informações sobre o produto - famílias de produtos e suas rotas; tempos de processamento; demanda; *Bill of Material* (BOM); etc;
- Desenhar um bloco para cada estação de trabalho de acordo com a posição relativa em seu *layout* - é aconselhável para iniciar a partir de processos a jusante; o tamanho do bloco deve ser dimensionado com valor correspondente; o valor atribuído ao WIP deve resultar da média de várias observações em diferentes ocasiões;
- Atribuir os trabalhadores para estações de trabalho;
- Desenhar as setas de acordo com a produção de rotas.

A segunda fase, em relação ao uso de pessoas, é com base em amostragem do trabalho e inclui as seguintes passos:

- Criar um modelo para registrar observações – esta folha de registo identifica o conjunto de actividades alternativas como as da Tabela 2;
- Faça as observações de acordo com as técnicas de amostragem do trabalho;
- Construa o gráfico de pizza para a utilização de trabalhadores usando percentagens ou custo.

Na fase final, o analista irá determinar os indicadores globais de desempenho e incluir seus valores no diagrama. Estes indicadores são calculados com base nas informações disponíveis a partir de fases anteriores.

3.2 Waste Identification Diagrams com OEE (WID/OEE)

A grande contribuição desta investigação é a inclusão do modelo WID nos aspectos da utilização dos equipamentos, nomeadamente o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Segundo Hansen (2006), todo o potencial da capacidade de produção instalado e não utilizado pela fábrica por conta do baixo índice de eficiência no uso destes maquinários é denominado como “fábrica oculta”. Neste contexto, surge o OEE como uma ferramenta para medir o desempenho real de um equipamento, rastreando actividades que não acrescentam valor ao produto, ou seja, geradoras de custos.

A ideia principal deste indicador é que há um conjunto de restrições que impedem de utilizar os equipamentos durante todo o tempo a produzir peças boas. Como se pode ver na Figura 18, o que tipicamente impede de utilizar um equipamento de forma eficaz durante 100% do tempo são as paragens planeadas, as paragens não planeadas, as perdas por velocidade e as perdas por qualidade.

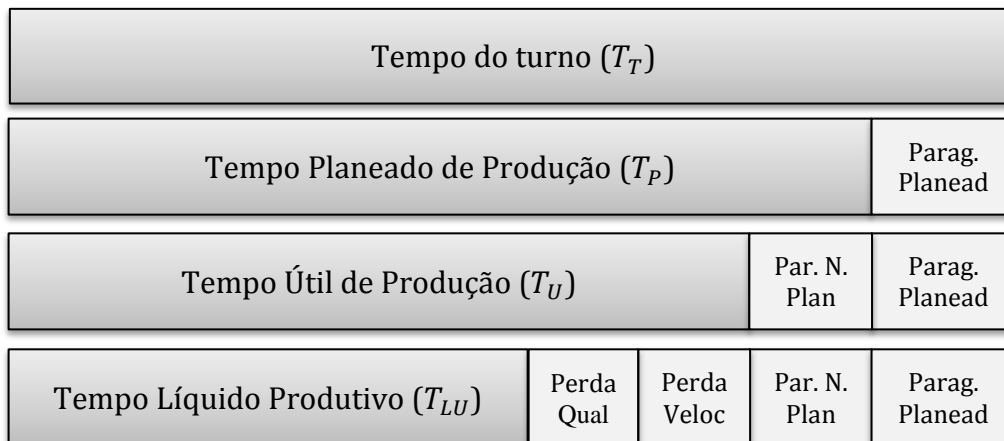


Figura 18 - Vertentes dos tempos de produção

O OEE, chamado na literatura portuguesa de Eficácia Global de Equipamentos (EGE) foi introduzido por Nakajima (1988) no contexto da Manutenção Produtiva Total (ou em inglês “Total Productive Maintenance” - TPM) e é direcionado para equipamentos / máquinas. O OEE é uma métrica global simples e clara, e é apreciada pelos gestores, pois é uma métrica agregada, em vez de muitas métricas detalhadas. Huang *et al.* (2003) relatam que o conceito de OEE está se tornando cada vez mais popular e que tem sido amplamente utilizado como uma ferramenta essencial para a medição quantitativa de produtividade em operações de fabricação de eletroeletrônicos, por causa das restrições de capacidade. O OEE identifica e mede perdas de aspectos importantes de manufatura, ou seja, a disponibilidade, taxa de desempenho e a qualidade. Isso sustenta a melhoria da eficácia dos equipamentos e, assim, a sua produtividade. Fabricantes de outros setores também adotaram o OEE para melhorar a sua utilização de ativos.

A ferramenta OEE foi concebida para identificar as perdas que reduzem a eficácia do equipamento. Estas perdas são actividades que absorvem recursos, mas não criam nenhum valor. Ao considerar o OEE, Nakajima (1988) definiu seis grandes perdas dos equipamentos:

- Perda 1. Falha/quebra de equipamentos - são classificados como perdas de tempo quando a produtividade é reduzida, e as perdas de qualidade causadas por produtos defeituosos;
- Perda 2. Tempo de *setup*/ajuste - é o tempo de parada e produtos defeituosos que ocorre quando a produção de um artigo termina e o equipamento está ajustado para atender os requisitos de outro item;
- Perda 3. Micro paragens - ocorrem quando a produção é interrompida por uma avaria temporária ou quando uma máquina está em ritmo lento;
- Perda 4. Velocidade - referem-se à diferença entre a velocidade projetada para o equipamento e a velocidade real de operação;
- Perda 5. Yield reduzido - ocorre durante a fase inicial de produção da máquina, na estabilização do *startup*;
- Perda 6. Defeitos de qualidade e retrabalho - são perdas na qualidade causados pelo mau funcionamento dos equipamentos de produção.

Os dois primeiros são conhecidos como perdas de *downtime* e são utilizados para calcular a disponibilidade, D, de uma máquina. O terceiro e quarto são perdas de velocidade, que determinam a chamada eficiência do desempenho, V, de uma máquina, ou seja, as perdas que ocorrem como uma consequência de operar abaixo das condições ótimas. As últimas duas perdas são consideradas as perdas devidas a defeitos; quanto maior for o número de defeitos, mais baixa é a taxa de qualidade, Q, de peças dentro da fábrica.

Depois de apresentados os fatores que afetam a utilização dos equipamentos, o cálculo do indicador OEE é o resultado do produto desses fatores:

$$OEE = D * V * Q \quad (13)$$

Sendo:

OEE - *Overall Equipment Effectiveness*;

D – Disponibilidade;

V – Velocidade;

Q – Qualidade.

Onde a disponibilidade D é determinada da seguinte forma:

$$D = \frac{T_U}{T_P}$$

Sendo:

- T_U – Tempo Útil de Produção.
- T_P – Tempo Planeado de Produção.

A velocidade V é determinada da seguinte forma:

$$V = \frac{Qp * T_{IE}}{T_U}$$

Sendo:

- V – Velocidade.
- Qp - Quantidade de produtos produzidos.
- T_{IE} – Tempo ideal da estação de trabalho.
- T_U - Tempo Útil de Produção.

E a qualidade Q é determinada da seguinte forma:

$$Q = \frac{Qpb}{Qp}$$

Sendo:

- Q – Qualidade.
- Qpb - Quantidade de produtos produzidos sem defeitos.
- Qp - Quantidade total de produtos produzidos.

Esta nova versão do WID proposta nesta tese, utiliza dados do OEE para enriquecer a qualidade da informação no bloco. Esta nova representação permitirá a identificação em termos gráficos dos pesos das diversas perdas relacionadas com paragens planeadas, paragens não planeadas, perdas com velocidade, perdas com qualidade, capacidade e da capacidade ainda disponível. Refletindo assim uma ideia da capacidade da linha como um todo, podendo analisar detalhadamente as unidades de produção e assim indicar os aumentos de produtividade e lucros da empresa.

No WID/OEE (como será chamado este novo modelo) os dados são adaptados para mostrar a sua influência no *Takt time*, bem como nos valores de tempo de estação. Este aprimoramento é particularmente relevante quando os dados do OEE estão disponíveis, permitindo uma análise do fluxo de produção e de desperdícios mais acurada.

3.3 Desenvolvimento do WID/OEE

3.3.1 Descrição da empresa e de processo

Com o objetivo de desenvolver e aplicar o WID/OEE foi selecionada uma empresa onde o OEE foi o foco de grande atenção. Essa empresa do segmento eletroeletrônico, no setor de semicondutores, está localizada no norte de Portugal e tem 13 anos de experiência no fornecimento de serviços de desenvolvimento, manufatura, teste e engenharia de componentes eletrônicos que podem ser usados em TVs, *smartphones*, vídeo games, computadores, etc. As suas instalações ocupam uma área de implantação de cerca 20000m² e possuem uma área de salas limpas de 15000 m². Atualmente a empresa conta com cerca de 600 colaboradores.

As indústrias do setor eletrônico tem importância central ao produzir bens indispensáveis ao padrão atual de produção de bens e serviços e à própria essência da sociedade contemporânea. Os bens eletrônicos são elementos-chave ao provimento dos serviços de informação, telecomunicações, entretenimento, transportes e trocas de informações, crescentemente centrados na Internet. O uso e a produção destes bens são componentes indissociáveis do funcionamento de quase todas as atividades da sociedade industrial e pós-moderna. Porém este setor também sofre com a perda de competitividade devido a intensificação da concorrência principalmente com os produtos fabricados nos países asiáticos. Cenários como este impõem nestes tipos de indústrias a necessidade de constante busca por aumento da produtividade e redução de custos.

Para expressar a importância de tal setor industrial, o mercado mundial de semicondutores teve uma receita prevista para 2014 de 317 mil milhões de dólares, o que representa um aumento de 4,1% em relação ao ano de 2013 e superando o recorde que era de 300 mil milhões de dólares em 2011 (World Semiconductor Trade Statistics, 2014).

O processo para construção de semicondutores é dividido em três etapas segundo Leachman e Leachman (2002), são elas: projeto (*design*), fabricação (*foundry*) e encapsulamento e teste (*back end*).

A etapa de *design* é decisiva com relação à parte funcional do circuito e são onde os componentes, suas interligações e suas posições são projetadas dentro do chip ou circuito integrado (Shintate, 2002).

A fabricação é o coração de qualquer indústria de semicondutores, é nesta etapa que as especificações e definições do *design* são traduzidas na forma de *wafers*, onde serão formados

os circuitos. A matéria-prima para a fabricação são cilindros de silício cristalino com um índice de pureza de 99,9999%. O processo de fabricação acontece em uma sala limpa de ambiente controlado, e envolve uma série de passos que levam de 10 a 30 dias para serem concluídos.

A etapa final *back end* consiste em individualizar os circuitos integrados que estão na *wafers*, e colocá-los em encapsulamentos que permitam que os contatos elétricos do circuito integrado sejam conectados à placa de circuito, e realizar testes quanto à sua capacidade e funcionamento. A empresa em estudo nesta investigação trabalha especificamente com esta parte de *back end*. Esta nova versão do WID, que integra dados de OEE, foi aplicado para uma determinada unidade de produção desta empresa de semicondutores chamada de *Laser Ball Singulation* (LBS). A LBS abrange 14 colaboradores e inclui os seguintes processos principais:

- i. *Pre-reflow* (PRFLW): Este é o primeiro processo da área de LBS, as *wafers* vindas do processo anterior de litografia passam por um forno com o objetivo de reduzir o empenamento (*warping*) e endurecer o *solder resist*;
- ii. *Solder Ball attachment* (SBA): Neste processo é feito a deposição de fluxo para efetuar a ligação das bolas de solda aos pads das *wafers* com objetivo de soldadura após passagem no forno. Todo este processo é subdividido nas etapas descritas a seguir:
 - *Printing*: zona onde é colocado fluxo nos *Ball pads* através de uma máscara (stencil), elo de ligação entre a bola de solda e o Ball pad;
 - *Mouing*: zona onde são colocadas as bolas de solda nos *pads* através do stencil.
 - *Repair/inspection*: zona onde são inspecionadas todas as *wafers* e se efetua automaticamente a reparação das unidades com falha;
 - *Reflow*: efetua a soldadura das *solder balls* aos *Ball pads* da *wafer*.
- iii. *Flux Clean* (FCL): As *wafers* são submetidas a um processo de limpeza para retirar o excesso de fluxo provenientes do processo de SBA;
- iv. *Singulation* (SGL): tem como finalidade a singularização (corte através de lâminas) das unidades que estão em *wafers*, inspecionar estas unidades e coloca-las em *trays* (bandejas);
- v. *Laser/inspection 3D* (STI): têm como função a marcação (impressão) das unidades através de raios laser, e inspeção por um sistema 3D;
- vi. LBS Inspeção Final (Gate): inspeção final manual e embalagem.

3.3.2. Proposta do WID/OEE

A empresa estava passando pelo processo de análise e diagnóstico de todos os setores da produção, para posteriormente poder aplicar as ferramentas do *lean manufacturing*. Este projeto foi chamado de Industrial Engineering Assessment (IE Assessment). Com isso foi necessário utilizar uma ferramenta para representação visual destes setores, mostrando assim o estado atual. A ideia então foi desenvolver um WID que atendesse às necessidades desta empresa e que também servirá como um novo modelo que responda à questão investigação (É possível criar um modelo de representação visual de unidades produtivas, que consiga ser reconhecido pelos profissionais da área como sendo capaz de diagnosticar eficazmente os principais problemas e desperdícios e estabelecer estados futuros?).

Durante 8 meses o autor esteve trabalhando no desenvolvimento do WID/OEE dentro da empresa juntamente com os gestores (nas pessoas do gerente de manufatura e do engenheiro de produção) e colaboradores da equipe do projeto IE Assessment. Schein (1999) enfatiza a importância do envolvimento dos funcionários em todo o processo de investigação, pois os funcionários são mais propensos a implementar a mudança que eles ajudaram a criar. No caso concreto desta empresa, os gestores identificaram uma necessidade de mudança e tendo sido amplamente partilhada, tornou-se difícil de ignorar, uma vez que a pressão para a mudança veio de dentro da própria organização.

Este desenvolvimento funcionou seguindo o modelo apresentado pela espiral da Figura 2 (diagnóstico, planeamento, ações e avaliação). Após o diagnóstico de se realizar uma representação visual para atender as necessidades específicas da unidade de produção e identificar oportunidades de melhoria, foi apresentado e explicado o conceito do WID (básico) para os gestores da unidade de produção. Neste primeiro momento ficou decidido entre o time do IE que o novo modelo do WID deveria representar as perdas relacionadas com velocidade e qualidade (*scrap*). Pois principalmente as perdas relacionadas com velocidade eram bastante relevantes no processo em estudo. A partir daí foi realizado o planejamento para coleta dos dados (tempo de ciclo dos equipamentos, perdas de qualidade por equipamento, perdas de velocidade por equipamento, WIP médio por processos, tempos de *downtime* por equipamento, volumes de produção, tempos disponíveis para produção e utilização de mão-de-obra) para posterior mapeamento do processo.

No WID da Figura 19, somente é representado no eixo y o Tempo *Takt* e o Tempo da estação. E como neste primeiro momento foi necessário representar as perdas de qualidade e velocidade, estas vertentes foram criadas no bloco.

Como as perdas de velocidade são caracterizadas como o não atendimento à velocidade de ciclo padrão, ou seja, o tempo da estação real é superior ao desejado e as perdas de qualidade são estratificadas em perdas por retrabalho e *scraps* dentro deste tempo da estação, com isso foi possível chegar ao modelo representado na Figura 19. Na qual os parâmetros de perda de velocidade e qualidade são inseridos no tempo da estação.

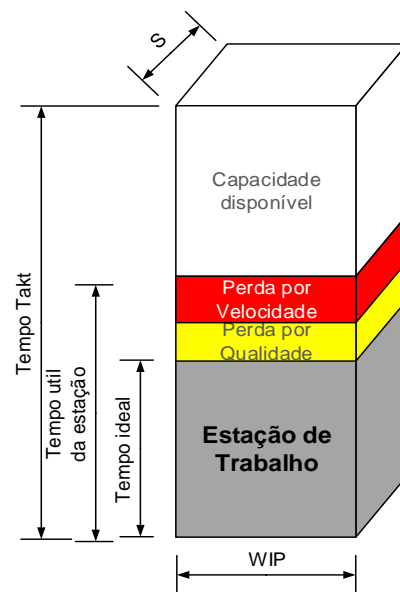


Figura 19 - Primeiro modelo WID/OEE

Relativamente ao tempo da estação de trabalho, é assumido que as perdas de velocidade e as perdas de qualidade iriam afetar esse tempo. São então propostos os conceitos de tempo ideal da estação (T_{IE}) e o conceito de tempo útil da estação (T_{UE}). O tempo ideal da estação é o tempo padrão das operações (também designado simplesmente por tempo da estação) e o tempo útil da estação é aquele que devemos considerar como real para, por exemplo, efeitos de planeamento de produção. O cálculo do tempo útil da estação é efetuado da seguinte forma:

$$T_{UE} = \frac{T_{IE}}{V * Q} \quad (15)$$

Sendo:

- T_{UE} – Tempo útil da estação de trabalho;

- T_{IE} – Tempo ideal da estação de trabalho;
- V – Velocidade;
- Q – Qualidade.

Após a definição deste primeiro modelo o mesmo foi apresentado em reunião para o time de IE e depois de algumas avaliações concluiu-se que, apesar deste modelo atender à primeira necessidade dos gestores da unidade de produção, foi levantada a possibilidade de mostrar também as perdas com *Downtime*, ou seja, perdas com paragens planeadas (*scheduling down*) e perdas com paragens não planeadas (*unscheduling down*). E para atender esta nova necessidade chegou-se no segundo modelo representado na Figura 20. Onde a dimensão (profundidade do bloco) utilizada anteriormente para representar o *setup*, agora representaria o *Downtime* (DT).

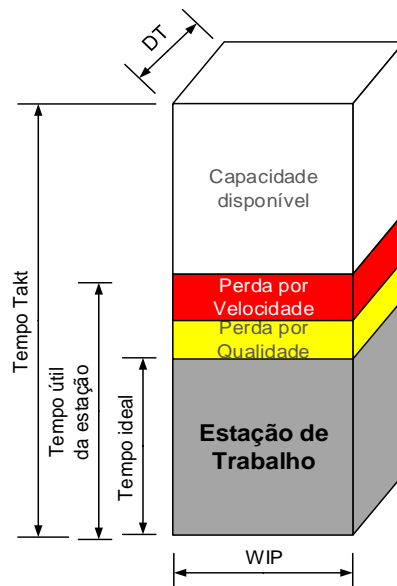


Figura 20 - Segundo modelo WID/OEE

Neste segundo modelo já foi possível representar de maneira eficaz os parâmetros solicitados pelos gestores (perdas de velocidade, perdas de *scrap* e *Downtime*), mas um detalhe foi observado, a capacidade disponível representada neste modelo não condizia com a realidade, ou seja, na prática quase não se tinha capacidade disponível e o WID mostrava o contrário.

Com isso foi necessário criar algumas vertentes novas de tempo *takt* de modo que o bloco refletisse a realidade com relação à capacidade disponível. Foram então criadas as seguintes

vertentes para o tempo *Takt*: o Tempo *Takt* do Turno (T_{TT}), o Tempo *Takt* Planejado (T_{TP}) e o Tempo *Takt* Útil (T_{TU}).

Para a determinação do valor de qualquer um dos tempos *takt* é necessário conhecer a quantidade planejada a ser produzida para satisfazer a procura, (vamos chamar quantidade requerida para um dia, ou Q_r). Assim temos:

$$T_{TT} = \frac{T_T}{Q_r} \qquad T_{TP} = \frac{T_P}{Q_r} \qquad T_{TU} = \frac{T_U}{Q_r} \qquad (14)$$

Sendo:

- T_{TT} - Tempo *Takt* do Turno;
- T_T - Tempo do Turno;
- T_{TP} - Tempo *Takt* Planeado;
- T_P - Tempo Planeado de Produção;
- T_{TU} - Tempo *Takt* Útil;
- T_U - Tempo Útil de Produção;
- Q_r - Quantidade Requerida.

A Figura 21 representa uma estação de trabalho já com as várias componentes associadas às perdas de capacidade, quer as associadas aos tempos *takt*, quer associadas aos tempos da estação. Esta representação permite evidenciar em termos gráficos os pesos das várias perdas de capacidade e a capacidade ainda disponível.

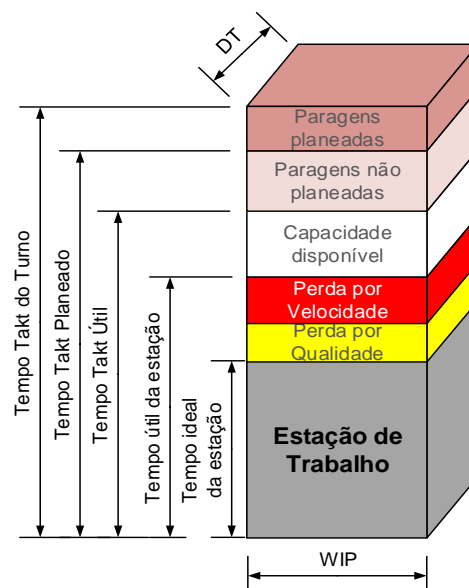


Figura 21 - Modelo final WID/OEE

Com este novo modelo de representação visual o time de IE e os gestores dispõem de informação que lhe permitem de forma intuitiva avaliar e comparar o peso que as paragens planeadas e as não planeadas têm nas perdas de disponibilidade do equipamento. Além disso, fica claro o quanto a estação de trabalho em causa tem de capacidade disponível ou “folga” para poder satisfazer maior procura. No caso em que não haja essa “folga” restará aos gestores iniciarem ações que visem o aumento do Tempo *Takt* Útil, reduzindo as paragens não planeadas ou as planeadas.

Enquanto o tempo *takt* útil dependem das perdas de disponibilidade do OEE, o tempo útil da estação tem mais a ver com a cadência realista da máquina, ou seja, mais a ver com as perdas de velocidade por artigo e as perdas de qualidade definidas no OEE. O tempo útil da estação pode ter a seguinte leitura: “de quanto em quanto tempo a estação de trabalho consegue produzir um produto bom.

Pode-se dizer então que quanto menor forem os pesos referentes às paragens não planeadas, perdas de velocidade e perdas de qualidade que estão representados no bloco, maior será o OEE.

Após apresentado e aprovado pelos gestores da unidade de produção e pelo time de IE, este ficou definido como sendo o modelo final do WID/OEE, que iria representar os estados atuais e futuros nas avaliações da engenharia industrial para a aplicação das ferramentas *Lean* na empresa em estudo.

3.3.3. Aplicação do WID/OEE

Na metodologia WID, assim como no VSM, o primeiro passo baseia-se na definição da família de produtos. A família definida para a construção deste WID foi a dos produtos AGR/EGV, pois além de possuírem o maior volume de produção, estes produtos também passam por todos os processos.

Para definição dos blocos, os dados referentes ao tempo de ciclo dos equipamentos, perdas de qualidade por equipamento, perdas de velocidade por equipamento, WIP médio por processos, tempos de *downtime* por equipamento, volumes de produção e tempos disponíveis foram retirados dos sistemas de produção da empresa. Estes dados coletados representaram a média de um dia de produção do total de um mês (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados para construção do WID/OEE

STEP	TAKT TIME (Min)	TEMPO DE CICLO (Min)	WIP (Waf)	DOWNTIME (Min)	P. PLANEADAS (SCHED DOWN)(Min)	P. Ñ PLANEADAS (UNSCHED DOWN)(Min)	PERDAS DE VEL. (SPEED LOSS/GAIN) (%)	QUALIDADE (YIELD)(%)
PRFLW	2,5	1,6	24	26	26	0	0	99,9
SBA	2,5	2,06	163	158,5	147	11,5	7	99,9
FCL	2,5	1,8	1	179,6	179,6	0	0	99,9
SGL	2,5	2	203	79	20	59	8 (gain)	99,9
STI	2,5	1,2	24	48	24	24	10	99,9
GATE	2,5	1,5	12	0	0	0	44	99,9

Os dados referentes aos desperdícios com a mão-de-obra foram obtidos através da amostragem do trabalho, que foi chamada nesta empresa de *Multi Observation Study* (MOS), ou seja, depois de termos um número significativo de observações conseguimos ter um “quadro” aproximado à realidade da área e que é estatisticamente válida. O MOS foi realizado de acordo com os seguintes passos:

- i. Entendimento da área; é essencial que todos os envolvidos no estudo conheçam o fluxo da área, reconheçam as fases do processo, as intervenções que são realizadas no equipamento etc. Foi realizada para o observador uma preparação para conhecimento da área de 1 semana;
- ii. Definição de categorias; as atividades realizadas pelos operadores deste setor foram divididas nas seguintes categorias: *prod* (atividades que acrescentam valor), *adm* (atividades administrativas como operação dos sistemas, procura de lotes, telefone etc), *transport* (atividades relacionadas a transporte de inventário, de materiais e de ferramentas), *support* (atividades de suporte a engenharia), *maintenance* (atividades relacionadas a manutenção preventiva e *setup*), *metrologia* (atividades relacionadas a inspeção), *others* (atividades não relacionadas com o trabalho) e *not present* (quando o operador não estava no posto de trabalho). Estas atividades foram definidas em comum acordo com a gerência da produção (Figura 22).

eWLB - LBS				
MOS - Lista de Actividades das Pessoas				
#	Grupo	Actividade	Descrição	Notas
10	Prod.	Prod_LoadUnload	Carga e descarga de lotes	Processo de carga e descarga de lote no equipamento
11		Prod_Count	Contagem de lotes	Somente contagem, exclui inspeção
12		Prod_Assist	Assistência ao equipamento	microparagens, erros, encravamentos e etc...
13		Prod_Pack	Packing	Não inclui Packcheck
14		Prod_Monitor	Monitorizar equipamento	Verificar a performance do equipamento
20	Admin.	Admin_System	Operação dos sistemas de OWS e SPACE	Villi, MVIN, MVOU, SPACE
21		Admin_ReadSys	Leitura de sistemas	Ler e-mail, Easy Doc, PI, PCP, tack Chart e outros
22		Admin_Comm	Comunicação verbal	Passagem de turno
23		Admin_Phone	Telefone	
24		Admin_Shearch	Procura de lotes	Tentar especificar se é Hold ou não
25		Admin_LT	Lote Traveller	Preenchimento do LT
26		Admin_Check	Ckeck list	Preenchimentos de documentos relacionado com a produção
30	Transport	Trans_Wip	Transporte de inventário	Transportar Lots (Foup or Tray)
31		Trans_Mat	Transporte de materiais	Fluxo, bolas e outros
32		Trans_Hand&Tool	Transporte de Handling e tooling	FOUP's, Trays, tooling
40	Support	Supp_Eng	Suporte a engenharia	Operador a dar suporte a actividade de eng
41		Supp_Training	Formação	Operador em formação - Somente quando acompanhado do formador
50	Maintenance	Maint_Maint	Manutenção	Diária ou suporte as outras act. de manutenção
51		Maint_Setup	Setup	Troca de blade, bolas, fluxo e outros
52		Maint_ProdChange	Troca de produto	Considerar somente troca de produto, receita / tools
60	Metrologia	Met_BallS	Ball Shear	Inclui FBS
61		Met_InspEye	Inspeccionar lote (Olho nú e lupa)	Distingir esta actividade da actividade de contagem
62		Met_InspMic	Inspeccionar lote (Microscópio)	Leica
63		Met_PackCheck	Pack Check	Colocação das labels nas caixas e verificação visual
70	Others	Other_SitWalk	Operador sentado(a) ou a caminhar pela área	Actividades não relacionadas com trabalho
71		Other_Other	Other	Outras actividades não consideradas

Figura 22 - Lista de Actividades

- iii. Definição do percurso; foi definido qual percurso seria feito pelo observador, juntamente com os pontos, ao longo do percurso, para fazer a observação instantânea de cada operador (Figura 23);

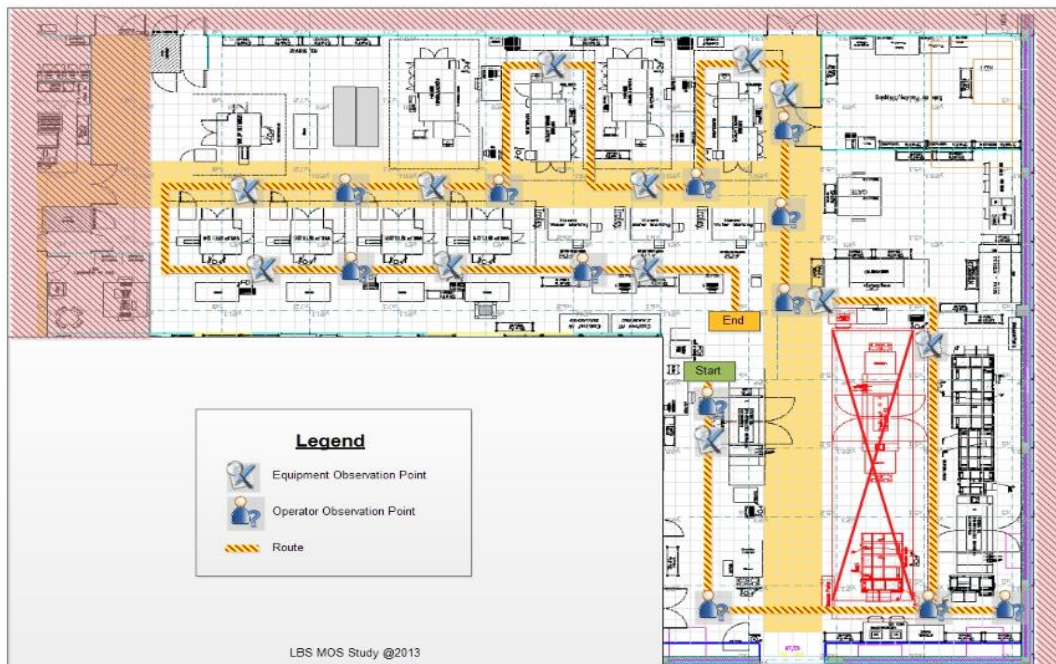


Figura 23 - Definição de Percurso

- iv. Definição dos ciclos; em cada ciclo, o observador percorre a rota (percurso) definida para fazer as observações, uma a cada colaborador, registrando o tipo de tarefa que no momento está sendo feita de acordo com as categorias definidas. Os ciclos foram definidos como sendo 1 por hora, ou seja 8 ciclos por dia, durante 4 dias. E foram observados 12 operadores no percurso;
- v. Execução da recolha dos dados; foram realizadas 384 observações (com validade estatística) e estes dados foram colocados em uma planilha para gerar o gráfico de pizza de desperdício com mão-de-obra.

Com isso, foi possível construir o WID/OEE do estado atual da unidade de produção LBS representado na Figura 24. Neste diagrama em particular a profundidade dos blocos não representa o tempo de troca, em vez disso, estão representadas as informações de *Downtime*. Isto segue um pedido específico da parte dos gestores da empresa. Uma outra particularidade é que a localização dos blocos representados correspondem à posição relativa no *layout*, facilitando, assim, a compreensão da unidade de produção real.

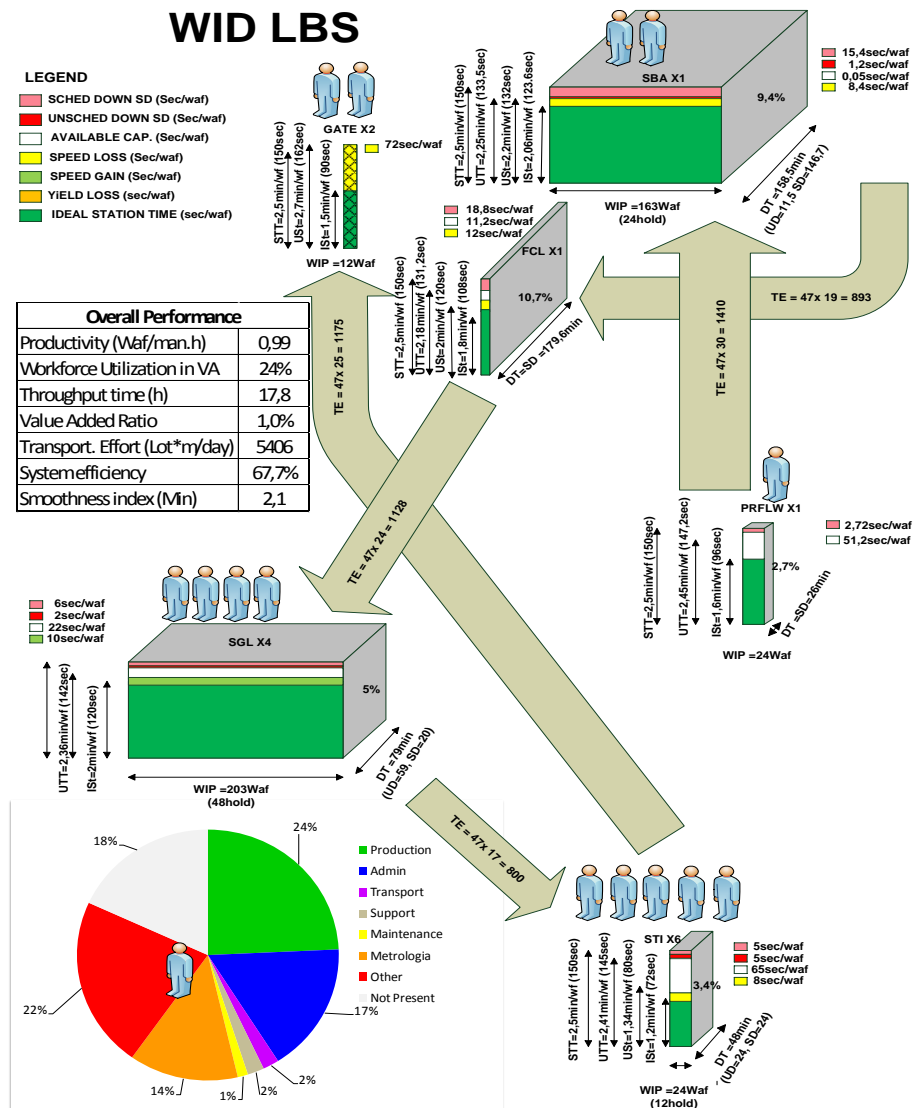


Figura 24 - WID/OEE LBS

Ao observar o diagrama WID/OEE, representado na Figura 24, pode-se rapidamente extrair uma variedade de informações visuais a respeito da unidade de produção, como por exemplo:

- Uma ideia sobre o fluxo de produção – as setas indicam o fluxo de produção, o processo inicia no estágio PRFLW depois passa pelos processos de SBA, FCL, SGL, STI e finaliza no processo GATE. Nota-se que o *layout* é inadequado, onde o fluxo da produção é bastante confuso e o esforço de transporte é excessivo. Uma nova disposição para o *layout* deve ser considerada;
- O número de operadores e em quais processo eles estão trabalhando – o LBS tem no total 14 operadores que estão distribuídos por processos da seguinte forma: 1 operador

no processo PRFLW, 2 operadores no SBA, 4 operadores no SGL, 5 operadores na STI e 2 operadores na GATE;

- Como o WIP está distribuído no chão-de-fábrica - no LBS o inventário (WIP) é medido pelo número de *Wafers*, incluindo também as *Wafers* no estado *Hold* (Aguardando análise). A maior quantidade de WIP é encontrado nos processos de SGL e SBA (blocos com maior largura). O WIP nos outros processos é substancialmente menor. Um projeto sobre fluxo puxado de produção deve ser planejado;
- Onde o esforço de transporte é mais relevante ou menos relevante - o caso mais relevante (seta mais larga) que corresponde ao maior desperdício com transporte está entre o processo PRFLW e SBA. Já o menos relevante está entre o processo SGL e STI;
- Uma ideia dos tempos de atravessamento de cada processo (área frontal do bloco) – o diagrama claramente mostra que o processo com maior tempo de atravessamento é o SGL;
- Uma ideia de como os operadores gastam seu tempo (gráfico de pizza) - Apenas 24% do tempo dos trabalhadores é realmente gasto a acrescentar valor, e os 76% restantes são gastos em atividades que não acrescentam valor (desperdícios). Tal fato merece atenção, uma vez que representa uma grande quantidade de desperdício ($14 \times 0,76 =$ trabalhadores 10.64 trabalhadores). Podemos afirmar que em atividades que não acrescentam valor (desperdícios) são exigidos mais de 10 trabalhadores. Esta é uma questão importante o suficiente para justificar ações voltadas para a redução das atividades que não acrescentam valor;
- Os tempos relacionados a *downtime* – os processos que tem o maior tempo de *downtime* (profundidade do bloco) são o FCL e o SBA, já o processo GATE não tem *downtime*;
- Capacidades disponíveis e processos críticos – com excessão do SBA, que está trabalhando em limites próximos a capacidade e é o processo gargalo, todos os processos restantes trabalham com capacidade extra disponível;
- Representação dos indicadores – Os indicadores estão representados em uma tabela do lado esquerdo da Figura 24. E relativamente ao rácio de valor acrescentado (RVA) pode-se considerar muito baixo (1%). O que significa que em 99% do tempo os produtos estão em filas de espera para serem processados

- Representação de processos que não acrescentam valor – pode-se notar que o processo GATE está tracejado pois o mesmo representa um processo que não acrescenta valor para o cliente, ou seja, inspeção.

Com relação aos parâmetros do OEE representados em cada estação, pôde-se chegar as seguintes conclusões:

- Com exceção do processo PRFLW, todos os processos restantes possuem perdas ou ganhos de velocidade. A perda de velocidade é muito alta no processo GATE, enquanto no processo SGL há ganho de velocidade;
- Todos os processos possuem perdas com paragens planeadas. As maiores perdas relacionadas a paragens planeadas estão nos processos FCL e SBA;
- A maior perda relacionada com paragens não planeadas está no processo STI. Nos processos PRFLW, FCL e GATE não existem perdas com paragens não planeadas;
- Com relação as perdas de qualidade, para este tipo de processo elas estão em torno de 0,2%, um valor pequeno por isso não foram representadas no diagrama.

Ainda em relação aos parâmetros do OEE, foi possível fazer o cálculo do OEE em cada processo como segue:

- $OEE_{PRFLW} = D(PRFLW) \times V(PRFLW) \times Q(PRFLW) = 0,98 \times 1 \times 0,99 = 97\%$
- $OEE_{SBA} = D(SBA) \times V(SBA) \times Q(SBA) = 0,9 \times 0,93 \times 0,99 = 82,8\%$
- $OEE_{FCL} = D(FCL) \times V(FCL) \times Q(SBA) = 0,87 \times 0,9 \times 0,99 = 77,5\%$
- $OEE_{SGL} = D(SGL) \times V(SGL) \times Q(SGL) = 0,94 \times 1 \times 0,99 = 93\%$
- $OEE_{STI} = D(STI) \times V(STI) \times Q(STI) = 0,96 \times 0,89 \times 0,99 = 84,5\%$

Como índice de qualidade em todos o processo são semelhantes (99,8% a 99,9%) foi considerado o valor de 99,9% para efeito de cálculo do OEE nos processos. Outro ponto em particular a considerar nesta empresa para o cálculo de OEE é que as paragens planeadas e não planeadas são consideradas para o cálculo de disponibilidade.

Com isso é possível observar que com exceção do processo de FCL (77,5%), o restante dos processos tem OEE maior que 80%, valores que são considerados como referência para este tipo de segmento. Os processos de FCL e SBA tem oportunidades de melhoria na disponibilidade, mais especificamente nas paragens planeadas.

Utilizando o processo SBA para fazer algumas análises, já que o mesmo é o gargalo da linha de produção estudo, pôde-se chegar as seguintes conclusões:

- As paragens planeadas e não planeadas representam um potencial ganho de capacidade de 34Wafers/turno, ou seja, caso sejam eliminadas, é possível aumentar a capacidade em até 34Wafers/turno. A maior parte deste ganho potencial de capacidade está relacionado com as paragens planeadas 32Wafers/turno;
- As perdas de velocidade e qualidade representam uma redução de 20Wafers/turno na produção. A maior parte desta redução está relacionado com as perdas de velocidade aproximadamente 19Wafers/turno;
- Praticamente não existe capacidade disponível por conta destes fatores

É de extrema importância um trabalho tanto para redução de *downtime* (principalmente de paragens planeadas) quanto para redução de perda de velocidade neste processo.

O WID/OEE permitiu uma detecção de processos críticos, capacidade disponível, OEE, *layout* inadequado e a localização da maioria das formas de desperdícios, bem como os seus valores. Os dados de OEE ajudam na detecção de possíveis soluções para aumentar a capacidade no processo mais crítico, neste caso o SBA.

3.4 Outras formas de representação do WID/OEE

Além da representação do WID/OEE que foi desenvolvida e aplicada até aqui, também é possível fazer outras adaptações sempre com o objetivo de melhorar a efetividade da informação e da representação. Aqui serão apresentadas algumas diferentes formas para representar o WID/OEE.

3.4.1. WID/OEE integrado com VSM

Esta adaptação (Figura 25) integra os recursos do WID, mantendo a essência do VSM que mostra toda a cadeia de valor do sistema e o fluxo de informação. O uso de WID ajuda a reduzir alguma dificuldade na análise do sistema produtivo, permitindo retirar rapidamente várias informações como tempos de ciclo, WIP, tempos de atravessamento, gargalos, entre outros já mencionados anteriormente neste trabalho.

Como uma tentativa de destacar as vantagens dessa abordagem proposta, um conjunto de critérios é listado na Tabela 4 e uma avaliação foi realizada após o julgamento dos autores.

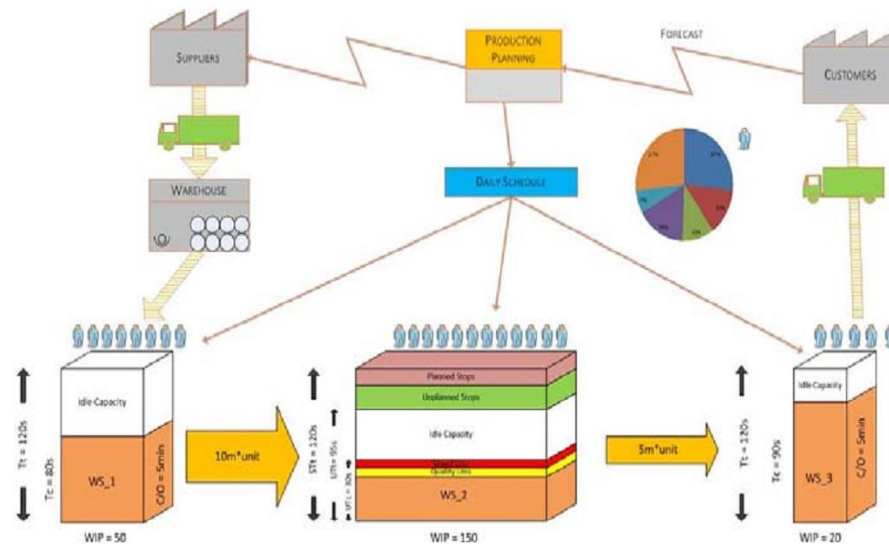


Figura 25 - VSM integrado com WID/OEE

Tabela 4 - Comparação entre as 3 ferramentas

Critéria	VSM	WID	VSM+WID
Fluxo de informação	Sim	Não	Sim
Fluxo de produção	Sim	Sim	Sim
Excesso de produção	Sim	Sim	Sim
Inventário	Sim	Sim	Sim
Transporte	Não	Sim	Sim
Desperdícios com mão-de-obra	Não	Sim	Sim
Informações de OEE	Não	Sim	Sim
Relevância visual	Não	Sim	Sim
Representação de diversas rotas	Não	Sim	Não
Representação de layout	Não	Sim	Não

De acordo com a Tabela 4, a integração do WID/OEE com VSM consegue representar diversas informações relevantes e desperdícios na unidade produtiva (fluxo de informação, fluxo de produção, excesso de produção, inventário, transporte, mão-de-obra, OEE e relevância visual) com excessão da representçõo de diversas rotas e a representaçõo do layout, pois os blocos são dispostos de maneira horizontal.

3.4.2. WIP/OEE representando tamanho do lote

Este modelo de WIP/OEE representado na Figura 26 substitui o tempo de *setup* ou *downtime* (profundidade do bloco) pelo tamanho do lote. O objetivo é verificar se a quantidade de WIP tem alguma relação com o tamanho do lote.

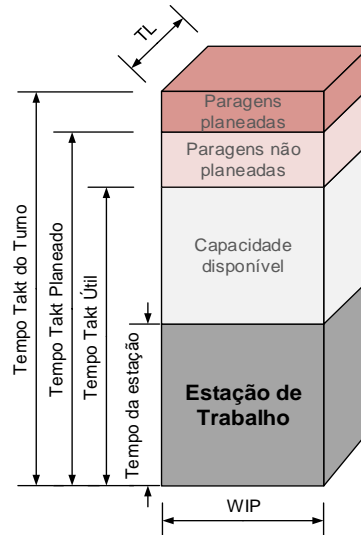


Figura 26 – WIP/OEE Tamanho do lote

Com esta informação o analista pode identificar oportunidades de melhoria com relação ao tamanho do lote, que pode vir a ser o responsável pela quantidade excessiva de WIP na estação de trabalho.

4. COMPARAÇÃO ENTRE O VSM E O WID/OEE

Com o objetivo de comparar o VSM e o WID/OEE principalmente em termos de sua eficácia, foi aplicado um questionário a estudantes de engenharia industrial de diferentes universidades e profissionais de engenharia industrial de diferentes empresas. A ideia foi avaliar as ferramentas nos seguintes aspectos:

- Identificar e avaliar os desperdícios de produção relacionadas ao fluxo de material;
- Identificar e avaliar os desperdícios de produção relacionados com as pessoas;
- Identificar e avaliar a capacidade disponível;
- Visualização de layout de produção;
- Representar características de produção fundamentais, tais como configurações e gargalos;
- Velocidade e exatidão da interpretação dos dados.

De acordo com Ghiglione e Matalon (2001), o inquérito por questionário pode ser definido como uma interrogação particular acerca de uma situação englobando indivíduos, com o objetivo de generalizar. O inquérito por questionário é uma técnica de recolha de dados, rigorosamente padronizada, tanto no texto das questões e das respostas como na sua ordem, de forma a garantir a comparabilidade das respostas de todos os indivíduos. O objetivo do inquérito por questionário é obter de maneira sistemática e ordenada informação sobre uma determinada população a investigar, ou seja, aquilo que fazem, pensam, opinam, sentem aprovam ou desaprovam, os motivos dos seus atos (Oliveira e Ferreira, 2014).

O questionário foi composto de três partes principais: (1) caracterização dos participantes, (2) um conjunto de 8 questões sobre a qualidade da interpretação do que está no diagrama, e (3) avaliação do WID com um conjunto de 7 questões de opinião subjetiva (com base em uma escala de Likert de 5 pontos, onde 1 "discordo totalmente" e 5 "concordo totalmente"). Desenvolvido por Rensis Likert, no início da década de 30, a escala de Likert consiste em um conjunto de itens apresentados em forma de afirmações ou juízos, ante os quais se pede aos respondentes que externem suas reações, escolhendo um dentre cinco, ou sete pontos de uma escala (Likert, 1932).

Para a parte (2) do questionário, o tempo / velocidade para cada resposta foi registrado em minutos. A fim de comparar a eficácia de cada uma das ferramentas (VSM vs WID/OEE) foi selecionada uma linha de produção de uma empresa de componentes de refrigeração

localizada no Polo Industrial de Manaus. A linha de produção está representada tanto no VSM (Figura 27) quanto no WID/OEE (Figura 28). Grupos de estudantes em Engenharia Industrial (IE) e grupos de profissionais do IE foram usados para ajudar a avaliar a eficácia do VSM e do WID/OEE através da qualidade das respostas dadas no questionário. A primeira parte das perguntas do questionário foram sobre a interpretação das características de produção e a segunda parte com a opinião dos participantes sobre o que deve incluir o diagrama.

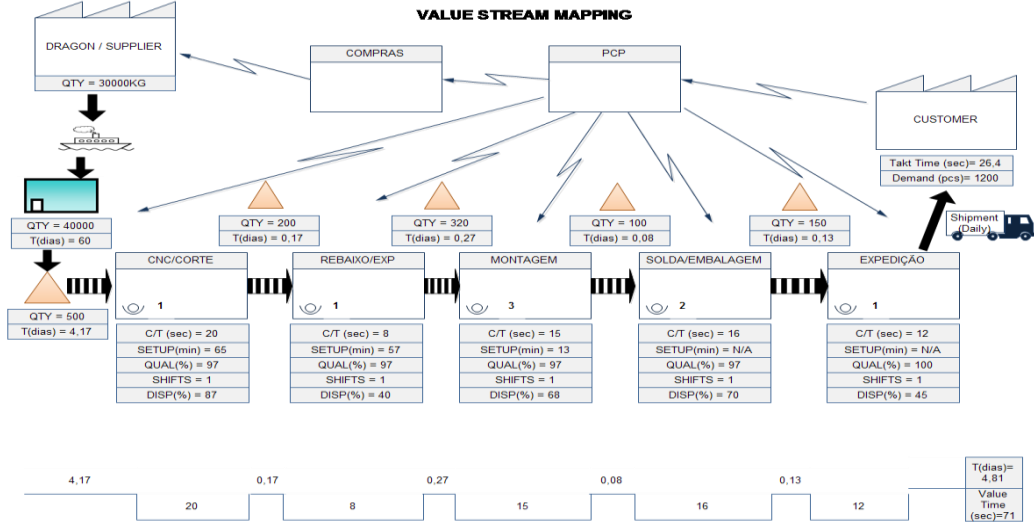


Figura 27 - VSM utilizado na experiência

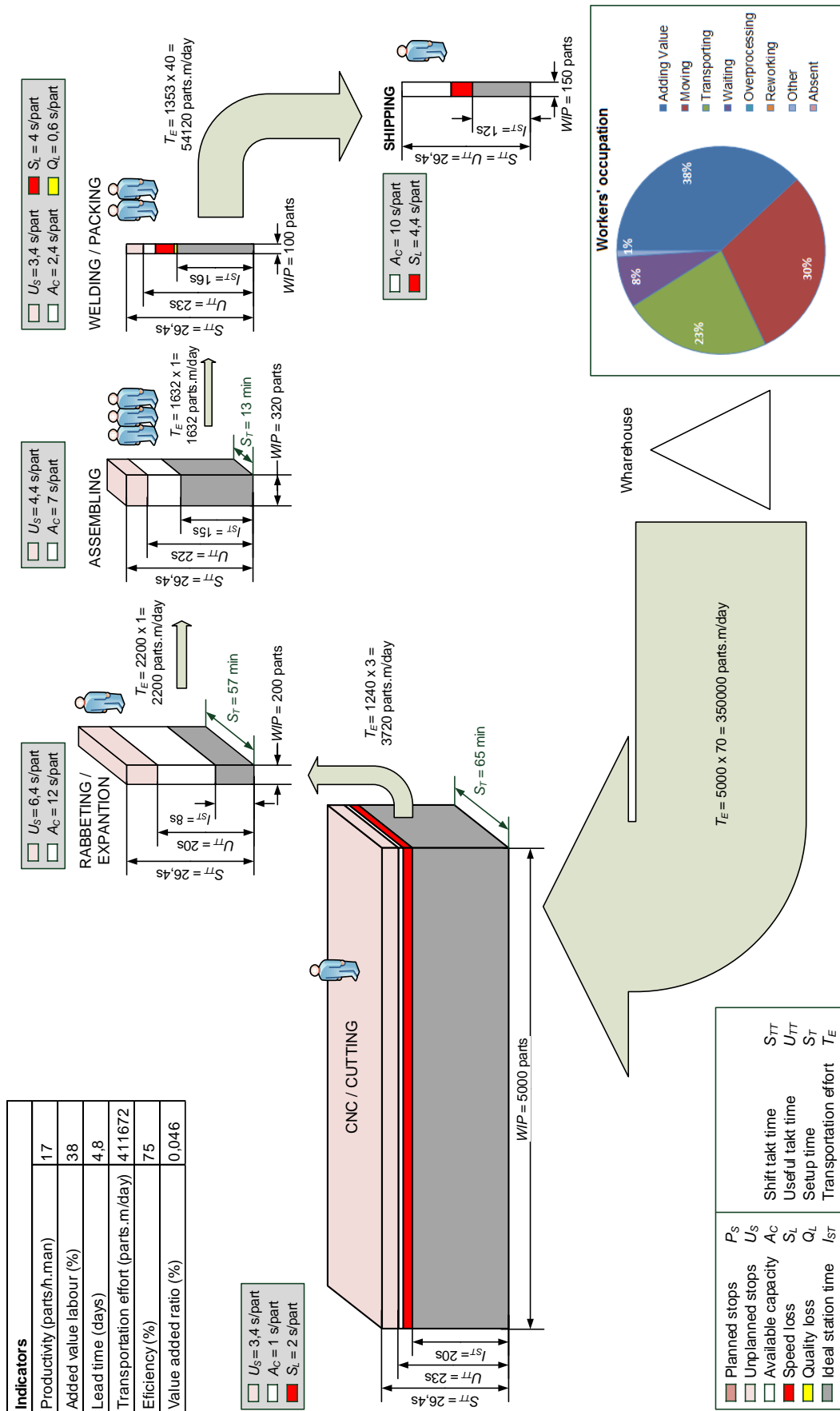


Figura 28 - WID/OEE Utilizado na experiência

A experiência foi conduzida de acordo com o seguinte procedimento:

- Cada grupo de participantes (estudantes ou profissionais da IE) foi levado para uma sala com capacidade de projeção para assistir a uma apresentação sobre uma das ferramentas;
- A sessão começa com uma breve explicação sobre a pesquisa. Basicamente, eles foram informados de que a ferramenta seria apresentada e, em seguida, eles iriam responder a algumas perguntas;
- A ferramenta de avaliação foi previamente selecionada (VSM ou WID/OEE) e uma apresentação de 15 min foi então dada sobre a ferramenta selecionada;
- O questionário foi então dado a cada membro do grupo;
- Um dos exemplos (Figura 27 ou da Figura 28), representando uma linha de produção real, seria então projetada no quadro para que todos pudessem ver e serem capazes de responder às questões apresentadas no questionário;
- No final, os questionários foram recolhidos.

A primeira parte do questionário é composto por perguntas a serem respondidas pela interpretação de uma representação do VSM ou do WID/OEE da mesma linha de produção.

As perguntas são:

- A1. Qual o número de processos?
- A2. Qual o número de pessoas (trabalhadores)?
- A3. Qual o processo com maior número de trabalhadores?
- A4. Qual processo é o gargalo/crítico?
- A5. Qual processo com maior inventário (WIP)?
- A6. Qual o processo com maior capacidade disponível?
- A7. Qual processo com maior tempo de *setup*?
- A8. Qual o processo com mais paragens planeadas?

A segunda parte do questionário (somente aplicado aos grupos WID/OEE) é composto por questões focadas em opiniões subjetivas:

- B1. Você acha relevante distribuir os blocos de acordo com o *layout*?
- B2. Você acha relevante incluir informações sobre desperdícios com transporte?
- B3. Você acha relevante incluir informações sobre os desperdícios relacionados com a mão-de-obra?

- B4. Você acha relevante incluir informações sobre os custos dos desperdícios?
- B5. Você acha relevante a informação gráfica sobre os tempos de ciclo, a espessura das setas de transporte, etc.?
- B6. Você acha relevante incluir a tabela com indicadores de desempenho?
- B7. Você vê alguma vantagem em incluir os ícones com os operadores?
- B8. Quais outras vantagens e/ou desvantagens você identifica no WID/OEE? Por favor, inclua observações pertinentes.

Depois de realizar este procedimento para número razoável de grupos, os questionários foram introduzidos no *software* estatístico SPSS, a fim de tirar conclusões.

Um total de 67 questionários foram recolhidos durante as experiências seguindo o protocolo anteriormente descrito. A participação foi voluntária e anónima. O teste não-paramétrico de *Mann-Whitney U*, alternativo do teste *t* para amostras independentes, foi utilizado para analisar as diferenças entre os dois grupos (VSM e WID/OEE) utilizando um nível de significância de 5%. O teste de Mann-Whitney foi desenvolvido primeiramente por F. Wilcoxon em 1945, para comparar tendências centrais de duas amostras independentes de tamanhos iguais. Em 1947, H.B. Mann e D.R. Whitney generalizaram a técnica para amostras de tamanhos diferentes. O teste de Mann-Whitney (Wilcoxon *rank-sum test*) é indicado para comparação de dois grupos não pareados para se verificar se pertencem ou não à mesma população e cujos requisitos para aplicação do teste *t* de *Student* não foram cumpridos. De outra forma, permite comparar as médias das ordenações de duas amostras aleatórias independentes (Laureano, 2011).

A maioria dos participantes eram estudantes (61,2% ou 41 alunos) de ambos os países (22 alunos de Portugal e 19 estudantes do Brasil). Os restantes 26 participantes eram profissionais de Portugal. Alguns participantes foram solicitados a avaliar a ferramenta WID/OEE (46,3%) e os outros participantes (53,7%) foram solicitados a avaliar a ferramenta VSM. É importante frisar que parte dos participantes já teve algum contato com a ferramenta VSM, mas nenhum teve qualquer contato prévio com WID/OEE.

De modo a entender o desempenho dos participantes em cada pergunta, foram computados os percentuais de respostas corretas e resposta erradas (Figura 29). Para todas as perguntas o percentual de acertos obtidos foram superiores a 50%. A questão com menor percentual de respostas certas foi a questão A8 (Qual o processo com mais paragens planeadas?), com 56,7%, seguida pela A6 (Qual processo com maior capacidade disponível?), com 59,7%, e A5

(Qual processo com maior inventário?), com 64,2%. Para as cinco perguntas restantes, os percentuais obtidos são superiores ou iguais a 75%. Em todas as perguntas o percentual de acertos foi maior do que o percentual de respostas erradas, embora nas questões A6 e A8 o percentual de acertos foi um pouco maior do que as erradas ($p > 0,05$).

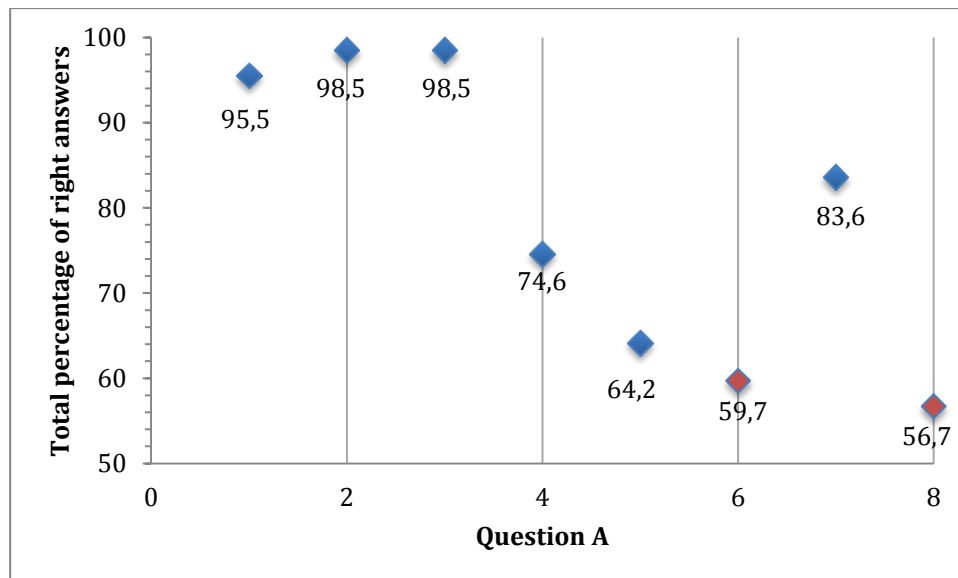


Figura 29 - Percentual de Respostas Corretas

A Tabela 5 apresenta a distribuição do percentual de acertos por categoria (Estudante/ Profissional) de acordo com dois grupos em análise (VSM e WID/OEE). A leitura da Tabela 5 confirma que a ferramenta em que os estudantes e os profissionais apresentaram melhor desempenho foi a ferramenta WID/OEE, exceto para questões A7 (67,7% e 97,2% de acertos para WID/OEE e VSM, respectivamente). Para responder à pergunta A7 (Qual o processo com maior tempo de *setup*?) os participantes expostos ao exemplo VSM liam o valor do tempo de *setup* nas caixas de dados debaixo dos processos. Por outro lado, no caso WID/OEE o participante pode tomar uma decisão, simplesmente olhando para a profundidade do bloco e decidir com base na aparência visual. No exemplo WID (Figura 28) a profundidade (o tempo de *setup*) de dois dos processos ("Corte" e "Rebaixo") aparecem mais ou menos iguais e, por essa razão, os participantes podem, em alguns casos interpretar errado.

Tabela 5 - Percentual de acertos por ferramenta e por categoria

Questão	Grupo						Statistics
	WID/OEE			VSM			
	Estudantes (%)	Profissionais (%)	Total (%)	Estudantes (%)	Profissionais (%)	Total (%)	
A1	100	92,3	96,8**	91,3	100	94,4**	U=545
A2	100	100	100**	95,7	100	97,2**	U=542,5
A3	100	100	100**	95,7	100	97,2**	U=543,5
A4	94,4	76,9	87,1*	60,9	69,2	63,9*	U=428,5
A5	94,4	92,3	93,5 ⁺	52,2	15,4	38,9 ⁺	U=253
A6	94,4	53,8	77,4*	39,1	53,8	44,4*	U=374
A7	55,6	84,6	67,7*	95,7	100	97,2*	U=393,5
A8	72,2	76,9	74,2*	34,8	53,8	41,7*	U=376,5
Média	88,9	84,6	87,1	70,7	74,0	71,9	

* $p < 0,05$; ⁺ $p < 0,001$; ** $p > 0,05$

Os resultados expressos na Tabela 5 mostram um melhor desempenho global dos profissionais para o VSM, e os alunos com um melhor desempenho global para o WID.

Analisando os resultados da Tabela 5, em relação ao percentual de acertos sobre o VSM, a questão com o pior desempenho é a questão A5 (qual o processo com maior inventário?) Com 38,9% de acertos no total. Em oposição ao bom desempenho alcançado (93,5%), quando a mesma pergunta foi aplicada no grupo WID. O desempenho obtido a partir de grupo WID/OEE é claramente melhor, uma vez que um nível de significância de 1% (Tabela 5) foi utilizado para a análise estatística. Este desempenho menor no grupo VSM acontece talvez porque a posição relativa da informação de inventário não é sempre a mesma (na Figura 27), o ícone do inventário do primeiro processo não está na mesma posição relativa que os outros processos).

Em relação à comparação de desempenho para perguntas A4, A6, A7 e A8, os resultados mostram uma clara vantagem do WID/OEE (utilizando um nível de significância de 5% para a análise estatística). As perguntas são: "Qual é o processo gargalo/critico?", "Qual o processo com maior capacidade disponível?", "Qual o processo com maior tempo de *setup*?" e "Qual o processo com mais paragens planeadas?".

Quanto a questões A1 ("Qual o número de processos?"), A2 ("Qual o número de pessoas/trabalhadores?"), e A3 ("Qual processo com maior número de trabalhadores?"), Os

resultados não mostram diferença de performances ao comparar o VSM com WID/OEE (usando o mesmo nível de significância de 5% para a análise estatística).

Por outro lado, em relação à categoria do participante (estudantes/ profissionais), o percentual de respostas erradas foram maiores do que as corretos para os Profissionais usando a ferramenta VSM na questão A5 (15,4%). Resultado oposto foi encontrada para o caso de uso das ferramentas WID/OEE para a mesma questão (93,5%).

O tempo gasto por cada um dos participantes para completar a primeira parte do questionário também foi registrada com base na suposição de que o tempo está relacionado com a eficácia da ferramenta gráfica na transmissão das informações. A distribuição do fator tempo (em minutos) utilizado para responder o teste para ambos os grupos está representada na Figura 30.

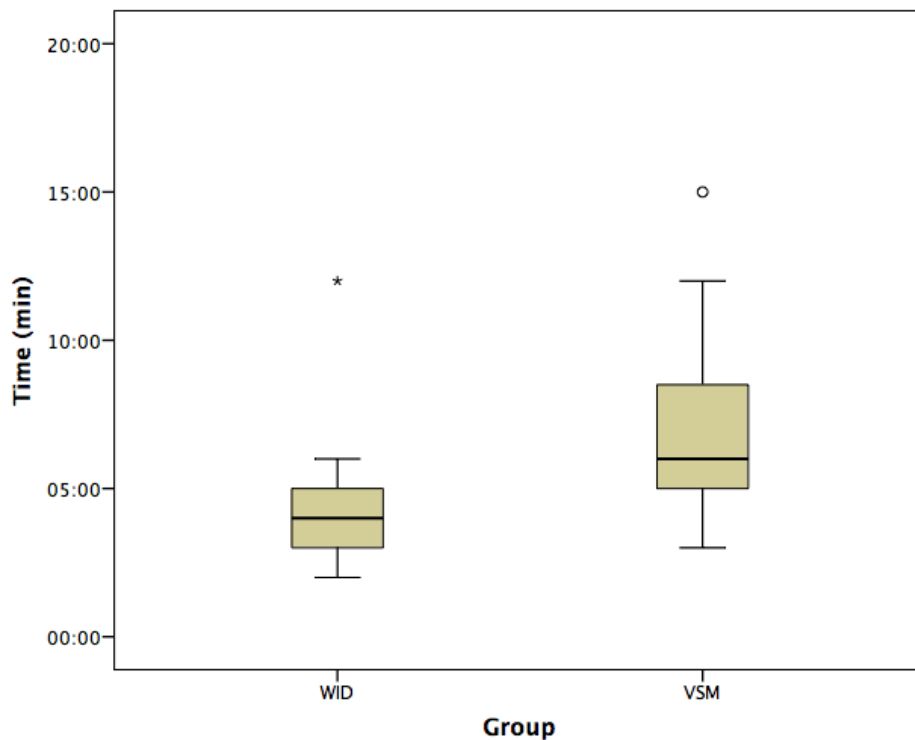


Figura 30 - Tempo de resposta WID e VSM

Em geral, o grupo WID/OEE mostra um tempo inferior utilizado para responder ao teste (4 min em média) e também apresenta uma menor variabilidade (tempo variando de 2 min a 12 min). O valor de tempo mais elevado verificado (12 min) foi obtido a partir de um estudante. Este valor é considerado como um *outlier*. O valor do segundo mais alto foi de 8 minutos. Para o grupo VSM, em geral, o tempo utilizado foi de 8 min, em média, variando de 3 a 15

minutos. Como para o grupo WID/OEE o valor mais elevado medido foi obtido a partir de um estudante e também considerado como *outlier*. O valor do segundo mais alto foi de 12 minutos. A partir dos resultados obtidos, pode concluir-se que o tempo de resposta do ensaio para o grupo WID/OEE é estatisticamente mais baixo do que para o grupo de VSM ($U = 207$, $p < 0,001$).

Dois indicadores diferentes foram usados para medir e comparar a eficácia da representação da informação do VSM e do WID/OEE. Um deles é o percentual de acertos e o outro é o tempo necessário para interpretar o diagrama. Um novo indicador chamado de eficácia global é proposto para incluir ambos os indicadores. A base desta medida de desempenho é que, se uma pessoa leva menos tempo para interpretar um diagrama A do que interpretar um diagrama B com o mesmo nível de precisão na interpretação, logo o diagrama A é mais eficaz em representar as informações necessárias. Com base em um raciocínio semelhante, se uma pessoa necessita de menos tempo para atingir a mesma acurácia de precisão na interpretação do diagrama A do que na interpretação de diagrama B, logo, o diagrama A é mais eficaz.

Uma maneira possível de quantificar esta eficácia global é através da seguinte equação:

$$\text{Overall Effectiveness} = \frac{\text{Percentual de respostas corretas}}{\text{Tempo gasto para responder}} \quad (16)$$

Tabela 6 - Eficácia global WID e VSM

	% Respostas corretas	Tempo gasto	Overall Effectiveness
WID	87,1%	4 min	21,8%/min
VSM	71,9%	8 min	9%/min

Em média, os participantes passaram menos tempo na interpretação do WID/OEE do que na interpretação do VSM. Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que a eficácia global do WID/OEE é maior do que a eficácia global do VSM. Uma maneira de interpretar os valores de desempenho global da Tabela 6 é que, em média, em cada minuto os participantes chegaram a 21,8% de acertos na interpretação do WID/OEE, enquanto no caso da VSM em cada minuto os participantes chegaram a apenas 9% de acertos.

A segunda parte do questionário (somente aplicado aos participantes expostos ao WID/OEE) é composto por questões focadas em opiniões subjetivas. A Figura 31 ilustra a distribuição e a gama de respostas obtidas dos participantes.

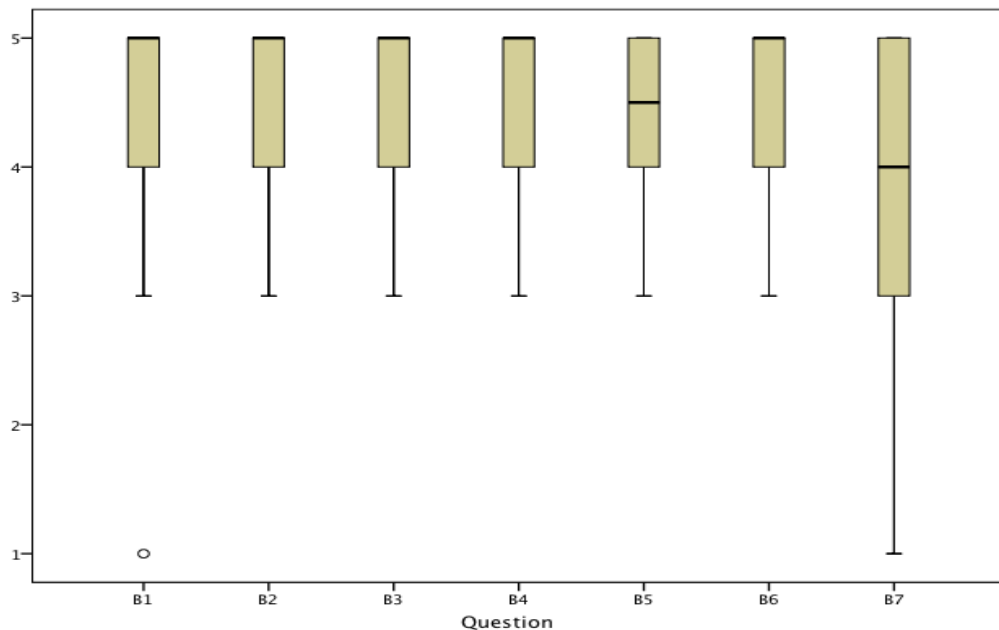


Figura 31- Distribuição das Respostas do WID/OEE

Exceto a questão B7, todas as opiniões foram positivas (≥ 3), sendo 75% com resultados ≥ 4 ("Concordo"). Em relação à questão B7, 50% reconheceram uma opinião muito positiva (≥ 4), e 25% com a opinião inferior (≤ 3).

Mais de 50% dos participantes estão completamente de acordo que é relevante incluir informações dos blocos de acordo *layout* (questão B1) e apenas uma pessoa estava completamente em desacordo. Todos os participantes (exceto um) não discordaram sobre incluir informações de *layout* na representação.

Todos os participantes concordaram que é relevante incluir informações sobre desperdícios com transporte (questão B2) e os mesmos resultados foram obtidos para as seguintes perguntas:

- B3: Você acha relevante incluir informações sobre desperdícios com mão-de-obra?
- B4: Você acha relevante incluir informações sobre os custos dos desperdícios?
- B5: Você acha relevante a informação gráfica sobre os tempos de ciclo, a espessura das setas de transporte, etc.?
- B6: Você acha relevante incluir a tabela com indicadores de desempenho?

Quanto à questão B7 (Você vê alguma vantagem sobre a inclusão de ícones com operadores?) As opiniões dos participantes não foram tão convincentes, uma que mais de 50% dos participantes concordaram com isso e 12,5% dos participantes discordou.

A questão B8 é uma questão subjetiva (que outras vantagens/desvantagens você identificou no WID/OEE. Por favor, inclua comentários relevantes). Os comentários dos participantes são resumidos em dois pontos:

- Pontos positivos: comentários gerais sobre o fato de que WID oferece fácil visualização e interpretação das informações da linha de produção (maioria dos comentários). Exemplos das próprias palavras dos participantes são: "mais visual e fácil de interpretar"; "Visualização mais fácil, o que facilita a interpretação"; "Visualização mais favorável, pois é gráfico e perceptível à primeira vista"; "Mais fácil leitura e análise em relação a VSM"; "Fácil de entender"; "Compreensão melhor do processo, mais rápido"; "Muito mais visível e melhor do que o VSM"; "Representação mais visual, permitindo coletar informações com mais facilidade em relação ao VSM"; "É gráfico, tornando-se uma leitura mais fácil"; "Mais visualmente atraente e fácil de interpretar"; "Mais fácil visualização e análise, permitindo uma melhor compreensão".
- Pontos positivos: comentários mais específicos sobre o fato de que WID/OEE oferece fácil visualização e interpretação. Exemplos das próprias palavras dos participantes são: "Fácil de ver os gargalos e as paragens"; "Imediatamente, você pode ver o processo, gargalos etc"; "É mais visível para avaliar as informações"; "É muito mais fácil identificar as atividades que acrescentam valor e as que não acrescentam valor". "Permite uma rápida interpretação/compreensão do processo"; "Ele está melhor representado visualmente, permitindo ser mais fácil de avaliar a informação".
- Ponto negativo relativamente à falta de fluxo de informação: Exemplos das próprias palavras dos participantes são: "Não tem informações sobre o planejamento, compras, fornecedor e cliente"; "Não há informações sobre entregas"; "A falta de informações sobre o envio, recebimento de materiais e planejamento". "Não há informações sobre o mercado (demanda e previsões)".
- Outros pontos negativos identificados pelos participantes têm em suas próprias palavras: "A falta de um ícone para identificar o início e o fim do processo"; "Difícil de aplicar em organizações de baixo volume/grande variedade de produtos";

"Informação de *setup* confusa"; "Neste diagrama a relação entre o tempo da estação e o tempo de atravessamento não é tão visível".

5. APLICAÇÃO DO WID/OEE NOUTRAS EMPRESAS

O objetivo deste capítulo é mostrar evidências da eficácia do WID/OEE na representação de uma grande variedade de elementos-chave das condições atuais de produção. O WID/OEE foi aplicado em cinco empresas de diferentes segmentos do Polo Industrial de Manaus (Brasil). As principais características selecionadas para validar a eficácia WID foram:

- Identificar e avaliar os desperdícios de produção relacionadas ao fluxo de material;
- Identificar e avaliar os desperdícios de produção relacionados com as pessoas;
- Identificar e avaliar a capacidade disponível;
- Identificar e avaliar paragens (planeada e não planeada);
- Identificar e avaliar as perdas de qualidade e perdas de velocidade;
- Identificar e avaliar o esforço de transportes;
- Identificar e avaliar as características fundamentais, tais como *setups*, WIP e gargalos;
- Representação de *layout* de produção;
- Representação de Indicadores de Desempenho;
- Avaliar os impactos nas indústrias estudadas.

O procedimento aplicado em cada uma das cinco empresas está descrito a seguir:

- Recolher os dados necessários a partir de uma linha de produção selecionada na empresa;
- Construir o WID/OEE para aquela linha de produção com base nos dados coletados;
- Fazer uma apresentação do WID/OEE para gestores de diferentes funções envolvidas (engenharia, produção, qualidade, logística e manutenção);
- Aplicar um questionário a todos os gestores e compreender suas opiniões sobre a eficácia do WID em mostrar a realidade de seus processos.

Os resultados obtidos a partir de todos os questionários foram processados usando o software estatístico SPSS, a fim de analisar e tirar conclusões. O teste de Kruskal-Wallis H teste não-paramétrico, alternativa para one-way ANOVA, foi utilizado para analisar diferenças significativas (ou não) entre as empresas, considerando 0,05 como nível de significância. Os pressupostos necessários para usar o teste de Kruskal-Wallis H foram verificados: variável dependente medida no nível ordinal (opinião em uma escala de Likert); variáveis independentes devem consistir de duas ou mais categorias, grupos independentes (empresa ou

Pergunta por grupo); independência das observações (diferentes participantes em cada grupo); as distribuições em cada grupo (isto é, a distribuição de pontuações para cada grupo da variável independente) tem a mesma forma (isto é, a mesma variabilidade).

Uma vantagem em utilizar o teste de Kruskal-Wallis H é que ele não assume normalidade nos dados, porém, é muito menos sensível a possíveis valores discrepantes.

O teste não paramétrico *Kruskal-Wallis H*, aplica-se para comparar três ou mais distribuições de populações independentes. Na prática é uma análise de variância um fator (*ANOVA One-Way*), mas não paramétrica. Ele é usado para testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas populações possuem funções de distribuição diferentes (Laureano, 2011).

5.1 Empresa A

A Empresa A é do segmento de bebidas não alcoólicas e fabrica o concentrado de uma determinada marca de refrigerante. É uma empresa de pequeno porte com aproximadamente 40 funcionários. O WID/OEE foi aplicado em uma linha de produção referente à fabricação do concentrado em pó e está representado na Figura 32. Esta linha de produção inclui 4 processos principais e 6 trabalhadores distribuídos

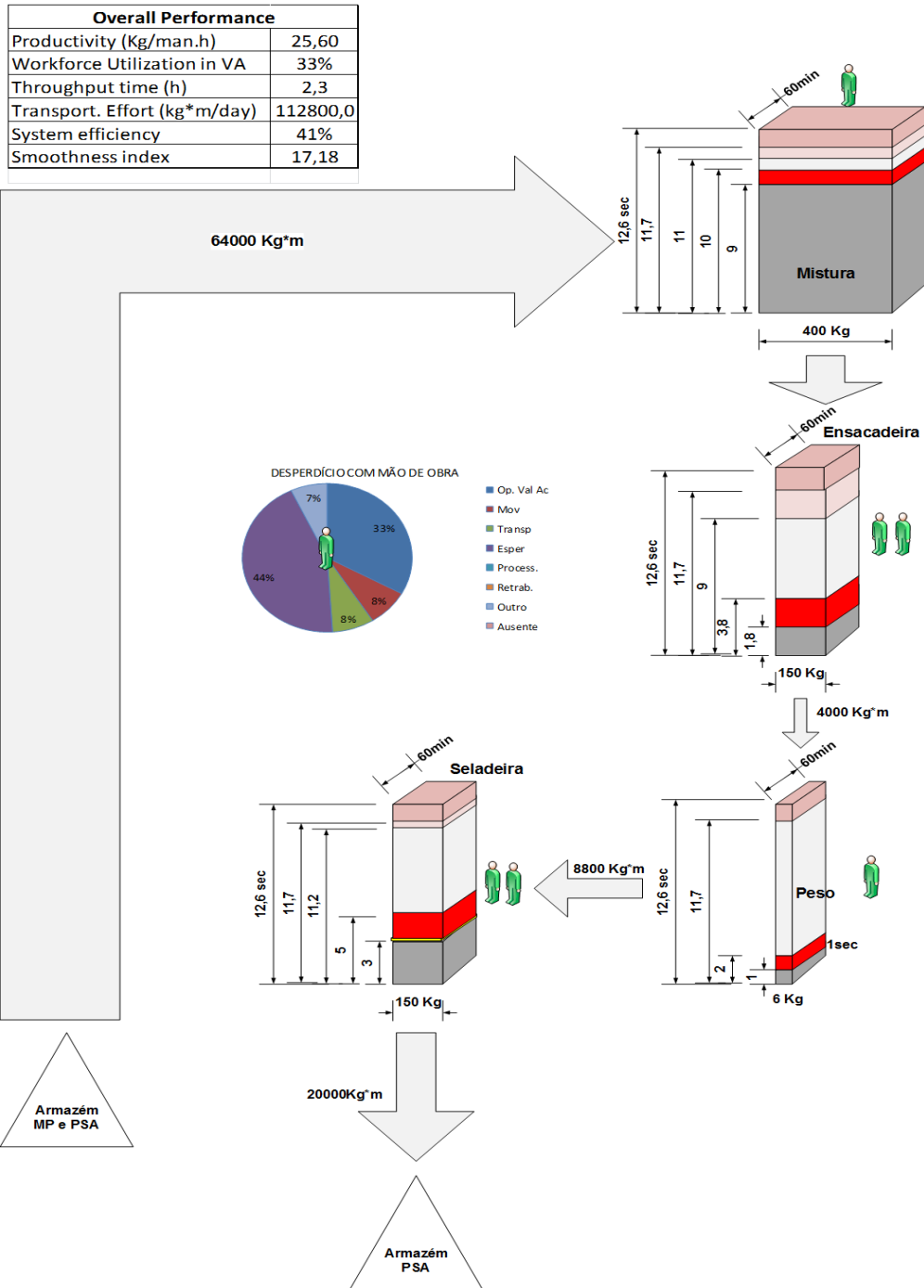


Figura 32 - WID/OEE Empresa A

As seguintes conclusões poderam ser tiradas do WID/OEE aplicado na Empresa A:

- O fluxo de produção inicia no processo mistura e finaliza no processo seladeira
- O esforço de transporte entre o armazém de matéria-prima e o primeiro processo (mistura) é muito elevado, sendo que uma nova disposição para o *layout* deve ser considerada;

- Os tempos de *setups* são iguais em todos os processos, e possuem oportunidades de melhoria. Um trabalho de redução de tempo de *setup* (SMED) deve ser realizado;
- A maior quantidade de inventário (WIP) é encontrado no processo de mistura. O WIP nos outros processos é relativamente menor. Um projeto sobre fluxo puxado de produção deve ser planeado;
- A perda de velocidade é bastante visível em todos os processos, sendo maior nos processos “ensacadeira” e “seladeira”;
- O processo de mistura é o gargalo, sendo que os tempos de parada planeada e perdas de velocidade devem ser reduzidos. Por outro lado, o restante dos processos (ensacadeira, peso e seladeira) possuem capacidade disponível;
- Durante o período coletado não foram registadas paragens não planeadas no processo “peso” (pelo menos não foram encontrados nos apontamentos da empresa);
- A perda de qualidade é apontada somente no processo seladeira, sendo que os valores não são tão significativos (em torno de 0,5%);
- Somente 33% do tempo dos trabalhadores é realmente em valor acrescentado, e o 67% restante é gasto em atividades que não acrescentam valor (desperdícios), sendo que destes, 44% está concentrado no desperdício de espera, representando uma grande quantidade de desperdício ($6 \times 0,44 = 2,64$ trabalhadores);
- O tempo de atravessamento é de 2,3 horas.

Com relação aos cálculos de OEE chegou-se nos seguintes resultados:

- $OEE_{mistura} = 0,94 \times 0,9 \times 1 = 84,6\%$
- $OEE_{ensacadeira} = 0,77 \times 0,47 \times 1 = 36,1\%$
- $OEE_{peso} = 1 \times 0,5 \times 1 = 50\%$
- $OEE_{seladeira} = 0,957 \times 0,6 \times 0,995 = 57,1\%$

Foram considerados índices de disponibilidade 100% no processo peso e qualidade 100% nos processos mistura, ensacadeira e peso. O menor OEE foi observado no processo ensacadeira.

Com relação ao questionário referente a eficácia do WID/OEE, 6 gestores responderam, sendo 2 da área administrativa, 2 da produção, 1 da engenharia e 1 da qualidade.

5.2 Empresa B

A empresa B fabrica pneus para motos e bicicletas. É uma empresa de médio porte com aproximadamente 600 funcionários. O WID/OEE foi aplicado em uma linha de produção referente a fabricação de pneus para bicicletas e está representado na Figura 33. Esta linha com 4 processos possuem 37 trabalhadores.

Overall Performance	
Productivity (Pneus/man.h)	25,80
Workforce Utilization in VA	52%
Throughput time (min)	52
Transport. Effort (kg*m/day)	525000,0
System efficiency	56%
Smoothness index	2,8

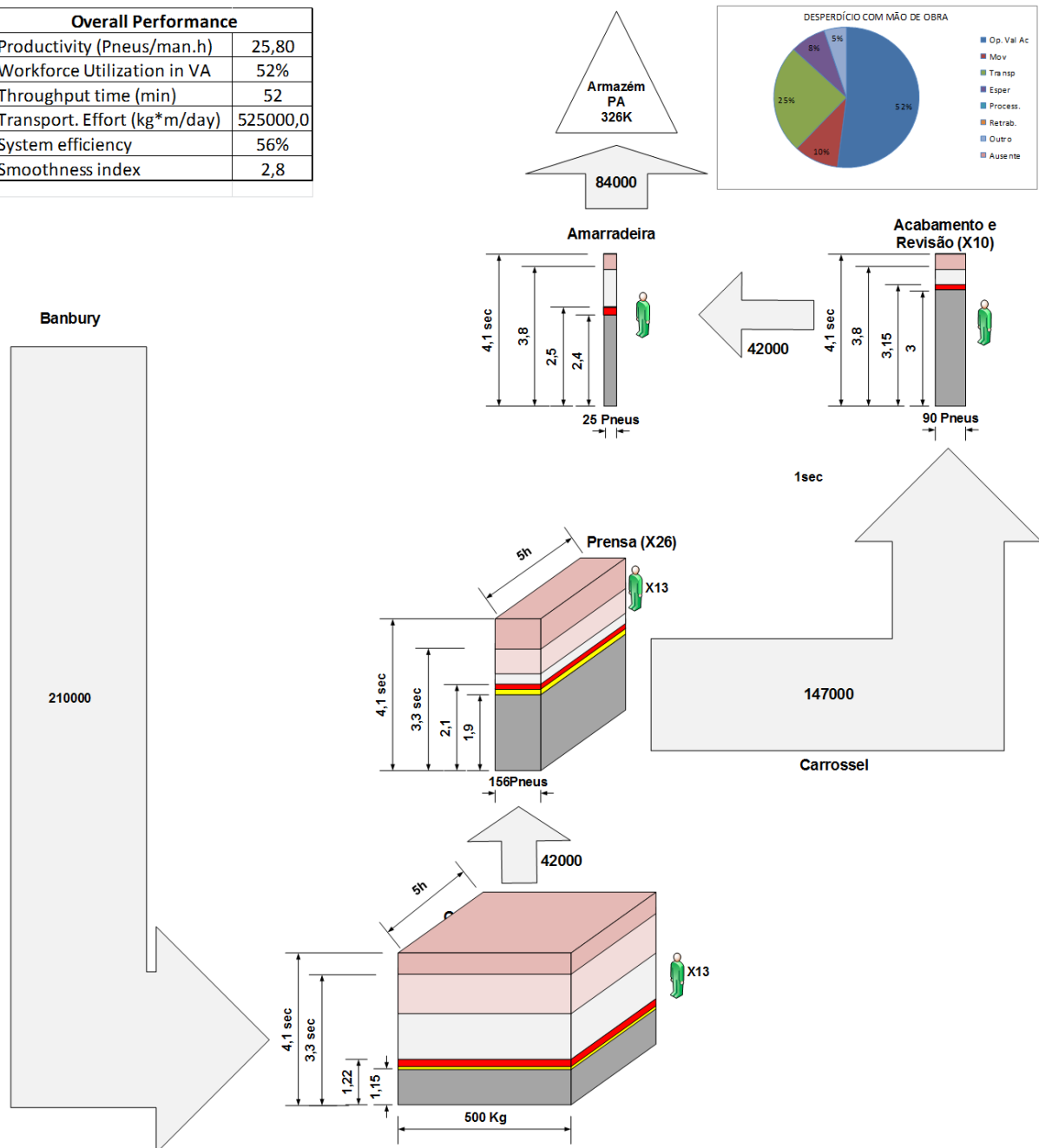


Figura 33 – WID/OEE Empresa B

As seguintes conclusões poderam ser tiradas do WID/OEE aplicado na Empresa B:

- O fluxo de produção inicia no processo confeccionadora e finaliza na amarradeira
- O esforço de transporte entre o setor *banbury* e o processo confeccionadora da carcaça e entre as prensas e a revisão/acabamento é bastante elevado. Um possível *relayout* pode ser considerado com finalidade de reduzir estes esforços;
- A amarradeira e a revisão/acabamento não possuem *setups*, mas em compensação as confeccionadoras de carcaça e as prensas podem levar até 5h para realização de um *setup*, tempo este considerado totalmente fora dos padrões. Uma força-tarefa (SMED's) deve ser feita de maneira urgente para redução destes tempos;
- A maior quantidade de inventário (WIP) é encontrado nas confeccionadoras de carcaça. O WIP nos outros processos é relativamente menor. Pode ser criado um *kanban* da confeccionadora para o *banbury*;
- A prensa é o gargalo, sendo que, o restante dos processos (confeccionadora da carcaça, amarradeira e revisão/acabamento) ainda tem capacidade extra disponível;
- As paragens planeadas possuem os mesmos valores em todos os processos;
- As paragens não planeadas são observadas somente na confeccionadora e prensa.
- A perda de velocidade é bastante visível em todos os processos, e tem valores semelhantes (em torno de 5%);
- As perdas de qualidade são observadas somente nos processos confeccionadora da carcaça e nas prensas, sendo que, nas prensas foram observados o maior valor (em torno de 5%);
- Apenas 52% do tempo dos trabalhadores é realmente gasto em valor acrescentado, e os 48% restantes são gastos com atividades que não acrescentam valor (desperdícios) sendo que destes, 25% está concentrado no desperdício de transporte ($37 \times 0,25 = 9,25$ trabalhadores);
- No armazém de produto acabado existem aproximadamente 325.000 pneus. Um ponto que chamou bastante atenção, pois toda a produção está indo para o armazém ao invés de ir para o cliente.

Com relação aos cálculos de OEE chegou-se nos seguintes resultados:

- $OEE_{confeccionadora} = 0,787 \times 0,95 \times 99 = 74\%$
- $OEE_{prensa} = 0,696 \times 0,95 \times 0,95 = 62,8\%$

- $OEE_{\text{revisao/acabamento}} = 1 \times 0,95 \times 1 = 95\%$
- $OEE_{\text{amarradeira}} = 1 \times 0,96 \times 1 = 96\%$

Foram considerados índices de disponibilidade e qualidade 100% nos processos de revisão/acabamento e amarradeira. O menor OEE foi observado no processo prensa.

Com relação ao questionário referente a eficácia do WID, 6 gestores responderam, sendo 2 da área administrativa, 2 da produção e 2 da engenharia.

5.3 Empresa C

A Empresa C fabrica peças plásticas e caixas acústicas para as indústrias do segmento eletrônico. É uma empresa de médio porte com aproximadamente 200 funcionários. O WID/OEE foi aplicado em uma linha de produção referente a fabricação de caixas acústicas para *micro systems* e está representado na Figura 34. Esta linha de produção tem 6 processos e 14 trabalhadores.

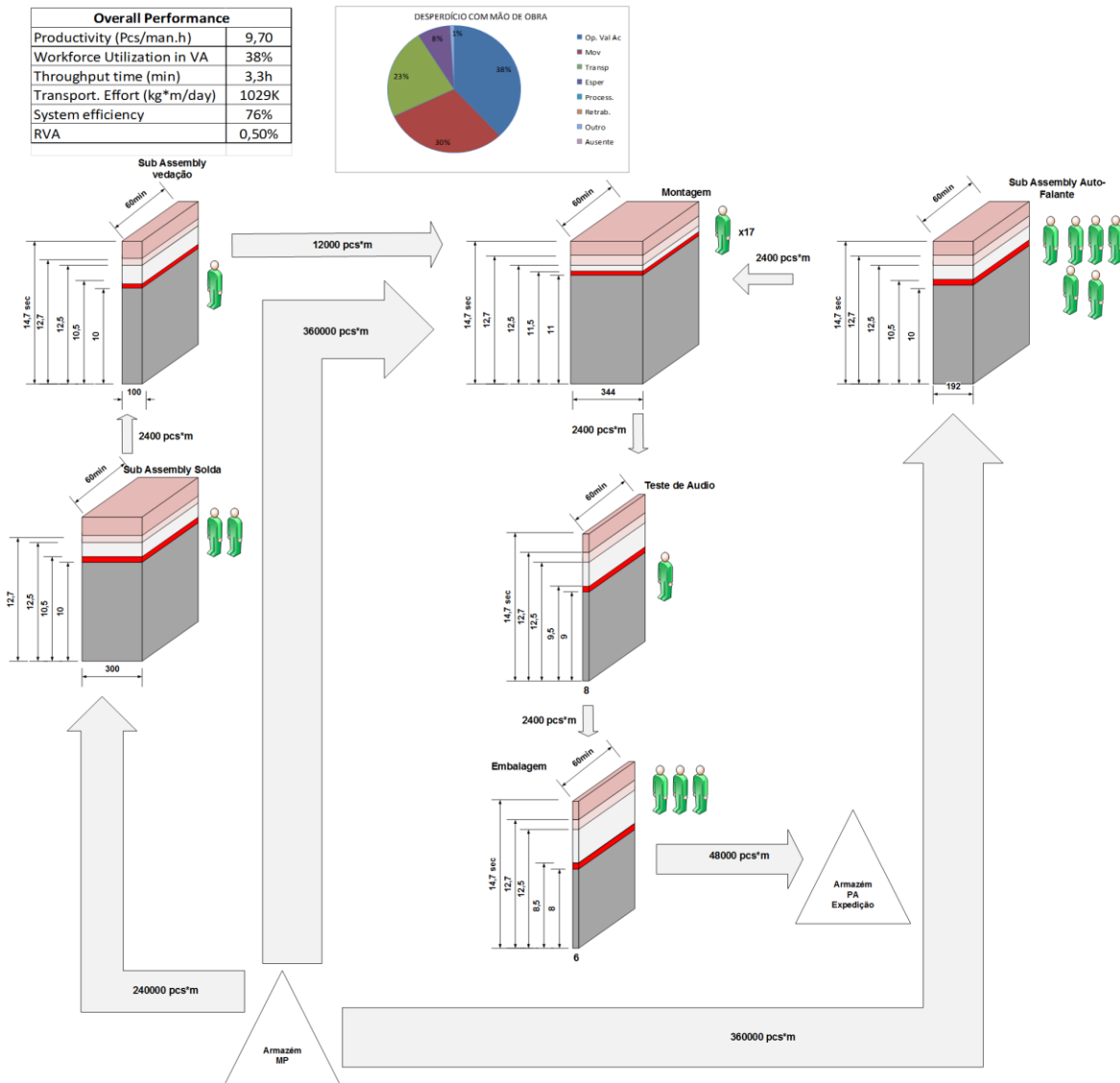


Figura 34 - WID/OEE Empresa C

As seguintes conclusões poderam ser tiradas do WID/OEE aplicado na Empresa C:

- O fluxo de produção inicia na montagem e finaliza no processo de embalagem, sendo que, a montagem é alimentada pelos processos de *sub-assembly* da solda e *sub-assembly* alto-falante;
- O esforço de transporte é bastante elevado do armazém de matéria-prima para *sub-assembly* da solda, montagem e *sub-assembly* do alto-falante. Sendo uma opção tentar aproximar o armazém da linha de produção;

- Todos os processos possuem tempos de *setup* em torno de 60 minutos. Estes tempos são relativamente altos e por isso uma intervenção para redução desses tempos, usando a técnica SMED, deveria ser considerada;
- O maior WIP está na montagem e no *sub-assembly* da solda. Qualquer esforço para redução de WIP pode ser focado nestes processos;
- A perda de velocidade é bastante visível em todos os processos, e tem valores semelhantes (em torno de 5%);
- A montagem é o gargalo sendo que os tempos de paragens planeadas, paragens não planeadas e perdas de velocidade devem ser resolvidos. Apesar de o restante dos processos possuírem capacidade disponível, uma atenção especial deve ser dada também às paragens e às perdas com velocidade;
- Como as perdas de qualidade são baixas (em torno de 0,5%), as mesmas não aparecem nos blocos;
- Apenas 38% do tempo dos trabalhadores é realmente gasto em valor acrescentado, e os 62% restantes são desperdícios, sendo que destes, 30% está concentrado no desperdício de movimentação ($30 \times 0,3 = 9$ trabalhadores);
- Relativamente aos indicadores, o Rácio de valor acrescentado (RVA) é muito baixo (0,5%), ou seja, 99,5% do tempo os produtos estão em filas de espera aguardando para serem procesados.

Com relação aos cálculos de OEE chegou-se nos seguintes resultados:

- $OEE_{\text{subvedação}} = 0,984 \times 0,952 \times 0,995 = 93,2\%$
- $OEE_{\text{subsolda}} = 0,984 \times 0,952 \times 0,995 = 93,2\%$
- $OEE_{\text{subaltofalante}} = 0,984 \times 0,952 \times 0,995 = 93,2\%$
- $OEE_{\text{montagem}} = 0,984 \times 0,956 \times 0,995 = 93,6\%$
- $OEE_{\text{testeaudio}} = 0,984 \times 0,947 \times 0,995 = 92,7\%$
- $OEE_{\text{embalagem}} = 0,984 \times 0,941 \times 0,995 = 92,1$

A disponibilidade tem valores iguais em todos os processos (98,4%) assim como o índice de qualidade (99,5%). Os valores de OEE são todos acima de 90% e o menor valor de OEE foi observado no processo embalagem.

Com relação ao questionário referente à eficácia do WID, 7 gestores responderam, sendo 2 da área administrativa, 3 da produção e 2 da engenharia.

5.4 Empresa D

A Empresa D é do segmento eletrônico e fabrica pranchas e secadores de cabelo. É uma empresa multinacional de grande porte com aproximadamente 300 funcionários. O WID/OEE foi aplicado em duas linhas de produção referente a fabricação de pranchas para alisamento de cabelo e está representado na Figura 35.

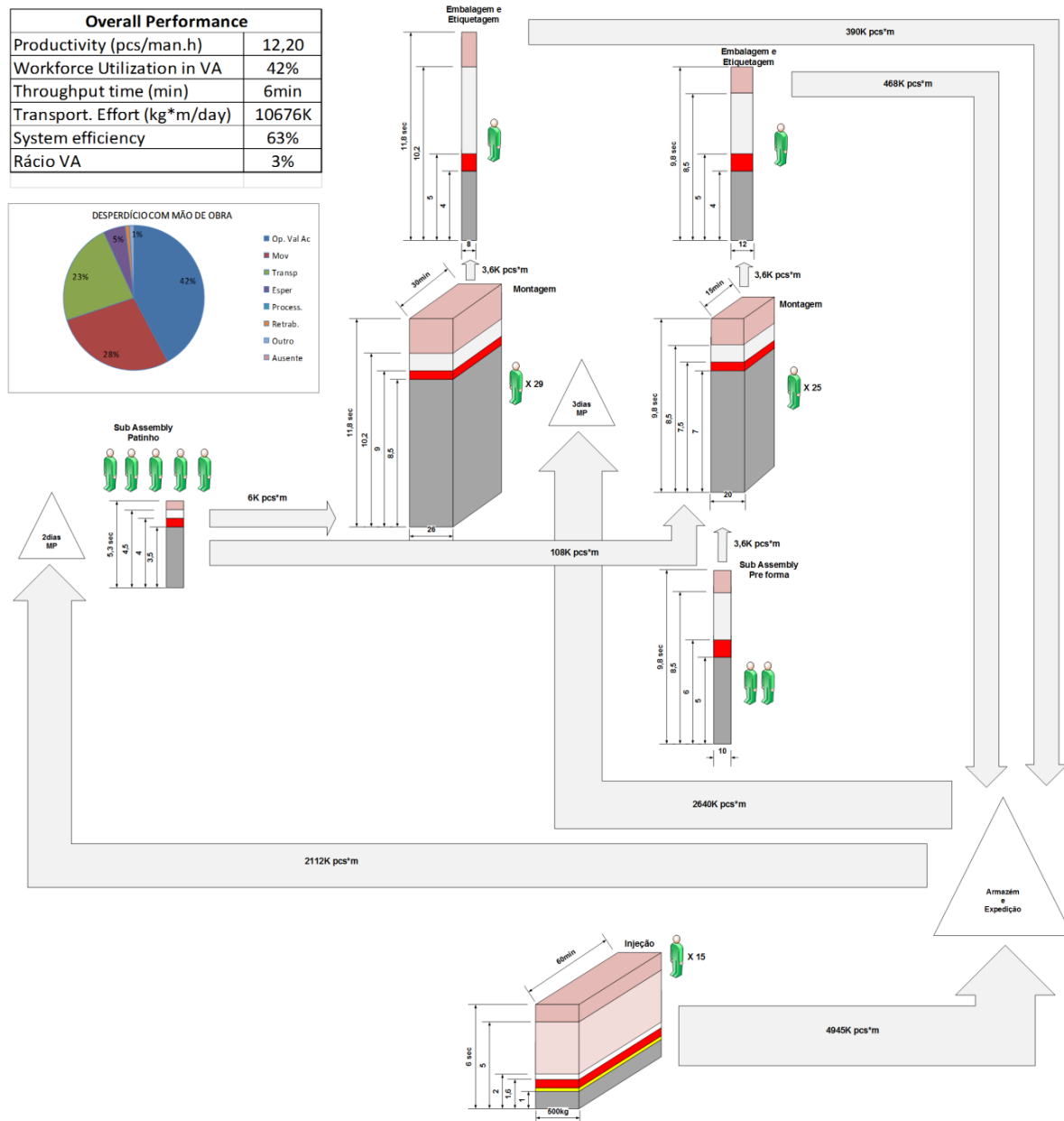


Figura 35 - WID/OEE Empresa D

As seguintes conclusões puderam ser tiradas do WID/OEE aplicado na Empresa D:

- O fluxo de produção na linha 1 inicia no processo *sub-assembly* do patinho, passando pela montagem e finalizando na embalagem/etiquetagem. Já o fluxo de produção na linha 2 inicia no *sub-assembly* pré-forma, passando pela montagem (que também é alimentada pelo *sub-assembly* do patinho) e finalizando na embalagem/etiquetagem. A injeção produz para um armazém que alimenta a montagem das 2 linhas de produção;
- O esforço de transporte é notável e excessivo nestas linhas de produção. Pela localização não muito favorável do armazém/expedição os esforços acabam sendo bastante elevados;
- Somente 2 processos possuem tempos de *setup* (injeção e as montagens), sendo que o maior tempo é o da injeção (60 min). Esforços podem ser direcionados para redução de tempo de *setup* na injeção;
- Nestas linhas de produção além do WIP existem também inventários de matéria-prima entre as linhas de produção (3 dias) e no *sub-assembly* do patinho (2 dias). Soluções relacionadas a supermercados e *kanbans* são necessárias;
- Os maiores valores relacionados a perda de velocidade são observadas na embalagem/etiquetagem, apesar da perda de velocidade existir em todos os processos;
- A injeção é o gargalo e as paragens não planeadas são responsáveis pela criticidade neste processo, mas uma atenção deve ser dada também as paragens planeadas, perdas de velocidade e qualidade;
- Como as perdas de qualidade são pequenas, em torno de 0,05% (exceto na injeção 10%) as mesmas não aparecem no restante dos blocos;
- 42% do tempo dos trabalhadores é gasto em valor acrescentado, e os 58% restantes são desperdícios, sendo que destes, 28% está concentrado no desperdício de movimentação ($78 \times 0,28 = 21,84$ trabalhadores);
- Com relação aos indicadores, o Rácio de valor acrescentado (RVA) é de 3%, isso significa que em 97% do tempo os produtos estão em filas de espera aguardando para serem procesados.

Com relação aos cálculos de OEE chegou-se nos seguintes resultados:

- $OEE_{injeção} = 0,4 \times 0,69 \times 0,90 = 24,84\%$
- $OEE_{subpreforma} = 1 \times 0,83 \times 0,995 = 82,5\%$

- $OEE_{subpatinho} = 1 \times 0,875 \times 0,995 = 87\%$
- $OEE_{montagem1} = 1 \times 0,944 \times 0,995 = 93,53\%$
- $OEE_{montagem2} = 1 \times 0,93 \times 0,995 = 92,5\%$
- $OEE_{embalagem1} = 1 \times 0,80 \times 0,995 = 79,6\%$
- $OEE_{embalagem2} = 1 \times 0,80 \times 0,995 = 79,6$

Foram considerados índices de disponibilidade de 100% em todos os processos (exceto na injeção). O menor OEE foi observado no processo de injeção.

Com relação ao questionário referente a eficácia do WID, esta foi a empresa com o maior número de respondentes, 9 no total, sendo 2 da área administrativa, 3 da produção e 2 da engenharia, 1 da Qualidade e 1 da Manutenção.

5.5 Empresa E

A Empresa E é do segmento eletrônico e fabrica condicionadores de ar. É uma empresa multinacional de grande porte com aproximadamente 600 funcionários. O WID/OEE foi aplicado em uma linha de produção referente a fabricação dos condensadores para ar condicionados de janela e está representado na Figura 36.

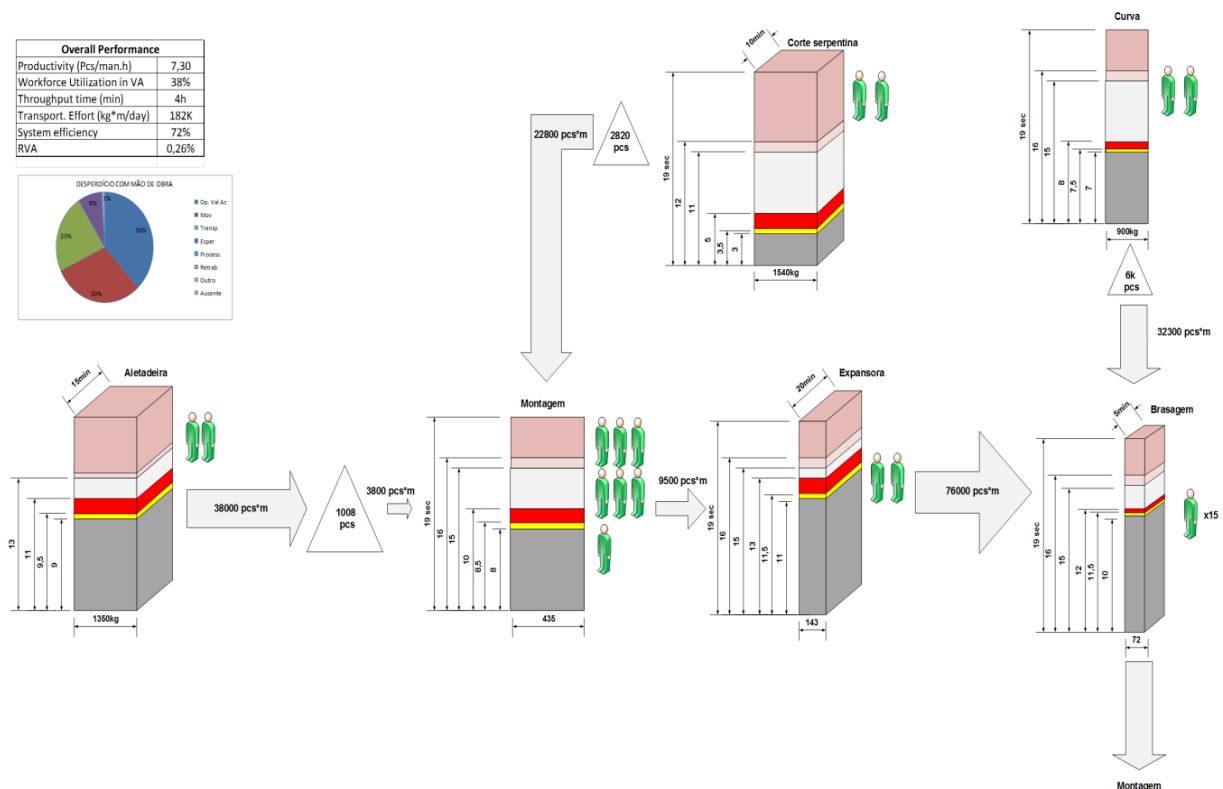


Figura 36 - WID/OEE Empresa E

As seguintes conclusões puderam ser tiradas do WID/OEE aplicado na Empresa E:

- O fluxo de produção inicia na aletadeira e finaliza na brasagem, sendo que, os processos de montagem e brasagem são alimentados pelo corte/serpentina e curva respectivamente;
- O esforço de transporte entre os processos aletadeira/montagem, corte serpentina/montagem e expansora/brasagem são os mais elevados;
- Exceto os processos de curva e montagem, todos os restantes possuem tempos de *setup* e o maior tempo está no processo da expansora (20 min);
- Assim como na Empresa D, nestas linhas de produção além do WIP existem também inventários de material semi-acabado entre os processos. Entre a aletadeira e a montagem (1008 pcs), entre corte serpentina e a montagem (2820 pcs) e entre a curva e a brasagem (6000 pcs). Com relação ao WIP as maiores quantidades estão nos processos de aletadeira e corte serpentina;
- O processo “expansora” é o gargalo e as paragens planeadas são responsáveis pela criticidade neste processo, mas uma atenção deve ser dada também as paragens planeadas, perdas de velocidade e qualidade;
- As paragens planeadas têm valores elevados em todos os processos, mas no processo corte serpentina está concentrado o maior valor;
- As perdas de velocidade são observadas em todos os processos, com excessão da brasagem, todos os outros processos têm valores semelhantes de perdas de velocidade;
- As perdas de qualidade são observadas em todos os processos e possuem valores semelhantes em todos os processos;
- Somente 38% do tempo dos trabalhadores é gasto em valor acrescentado, e os 62% restantes são desperdícios, sendo que destes, 30% está concentrado no desperdício de movimentação ($30 \times 0,3 = 9$ trabalhadores);
- Com relação aos indicadores, o Rácio de valor acrescentado (RVA) extremamente baixo (0.26%), em 99,74% do tempo os produtos estão em filas de espera aguardando para serem procesados.

Com relação aos cálculos de OEE chegou-se nos seguintes resultados:

- $OEE_{aletadeira} = 0,9375 \times 0,863 \times 0,947 = 76,6\%$
- $OEE_{montagem} = 0,9375 \times 0,85 \times 0,941 = 74,9\%$

- $OEE_{corte} = 0,9375 \times 0,70 \times 0,857 = 87\%$
- $OEE_{expansora} = 0,9375 \times 0,844 \times 0,956 = 79,2\%$
- $OEE_{curva} = 0,9375 \times 0,9375 \times 0,933 = 82\%$
- $OEE_{brasagem} = 0,9375 \times 0,958 \times 0,87 = 78,1\%$

Foram considerados índices de disponibilidade de 93,75% em todos os processos. O menor OEE foi observado no processo de montagem.

Com relação ao questionário referente à eficácia do WID, esta foi a empresa com o menor número de respondentes, apenas 3, sendo 2 da engenharia e 1 da logística.

5.6 Avaliação da Eficácia do WID/OEE

O questionário que foi aplicado para avaliar a eficácia do WID/OEE é composto de três partes principais: (1) caracterização dos participantes, (2) um conjunto de 17 perguntas sobre a qualidade da interpretação e da relevância do que está no diagrama, e (3) um conjunto de 9 perguntas sobre o impacto do WID/OEE na empresa. As questões são baseadas em uma escala de 5 pontos de Likert, onde 1- "Discordo totalmente", 2 - "Discordo", 3 - "Indiferente", 4 - "Concordo", e 5- "concordo totalmente".

A primeira parte do questionário é composto por perguntas a serem respondidas pela interpretação e relevância da representação do WID/OEE aplicado na linha de produção. As perguntas são:

- 1.1. Você acha relevante a informação referente ao número de pessoas que trabalham no processo (bonecos)?
- 1.2. Você conseguiu identificar facilmente o processo gargalo/crítico?
- 1.3. Você conseguiu identificar facilmente a estação de trabalho com maior inventário?
- 1.4. Você conseguiu identificar facilmente a estação de trabalho com maior capacidade disponível?
- 1.5. Você conseguiu identificar facilmente a estação de trabalho com maior tempo de *setup*?
- 1.6. Você acha relevante as informações referente a paragens (planeadas e não planeadas)?
- 1.7. Você acha relevante a informação sobre a perda de qualidade?

- 1.8. Você conseguiu identificar facilmente a estação de trabalho com maior perda de qualidade?
- 1.9. Você acha relevante as informações referente as perdas de velocidade?
- 1.10. Você conseguiu identificar facilmente a estação de trabalho com maior perda de velocidade?
- 1.11. Você acha relevante as informações referentes ao esforço de transporte?
- 1.12. Você conseguiu identificar facilmente qual o maior esforço com transporte?
- 1.13. Você acha relevante as informação referentes a desperdícios relacionados com mão-de-obra?
- 1.14. Você acha relevante como os desperdícios com mão-de-obra estão divididos?
- 1.15. Você conseguiu identificar facilmente qual o maior desperdício relacionado com mão-de-obra?
- 1.16. Você acha relevante a distribuição de blocos de acordo com *layout*?
- 1.17. Você acha relevante a tabela com indicadores de desempenho?
- 1.18. Quais outras vantagens/desvantagens você identifica no WID/OEE? Favor acrescentar comentários.

A segunda parte do questionário é composto por perguntas com foco nos impactos do WID/OEE na empresa:

- 2.1. Você acha que o uso do WID/OEE pode ser relevante para a sua empresa?
- 2.2. Você acha que o WID/OEE será útil para o exercício de sua função?
- 2.3. O WID/OEE ajuda a mostrar informações previamente desconhecidas para você?
- 2.4. Você acha que o WID/OEE aplicado na sua empresa pode conseguir representar uma visão geral do processo?
- 2.5. Na sua opinião o WID/OEE facilitaria a comunicação entre os gestores da empresa?
- 2.6. Você acha relevante o WID/OEE usado para a melhoria contínua, representando os estados futuros?
- 2.7. Você acha que WID/OEE conseguiu representar informação relevante sobre o processo?
- 2.8. Você recomendaria o uso de WID/OEE em outras empresas?
- 2.9. Você considera que WID/OEE é uma ferramenta de fácil interpretação?

Um total de 31 questionários foram recolhidos durante as experiências seguindo o protocolo anteriormente descrito. A participação foi voluntária e anónima. É importante frisar que alguns dos participantes já tiveram algum contato com a ferramenta VSM, mas nenhum teve qualquer contato prévio com WID/OEE.

Os participantes eram gestores de diferentes áreas (administração, produção, qualidade, manutenção, engenharia, qualidade e logística) e são divididas da seguinte forma:

- Empresa A: Administrativo (2), Qualidade (1), Engenharia (1) e Produção (2)
- Empresa B: Administrativo (2), Engenharia (2) e Produção (2)
- Empresa C: Administrativo (2), Engenharia (2) e Produção (3)
- Empresa D: Administrativo (2), Qualidade (1), Engenharia (2), Manutenção (1) e Produção (3)
- Empresa E: Engenharia (2) e Logística (1)

O gráfico apresentado na Figura 37 mostra o range de respostas para cada pergunta para todos os participantes (31 participantes) de todas as empresas. Em termos gerais, o diagrama mostra um feedback positivo em todas as questões. Em todas as questões, pelo menos, 75% dos participantes deram respostas positivas ("concordo" ou "concordo plenamente"). Em quatro questões (Q1.2, Q2.1, Q2.4, Q2.8) houve 100% de respostas "concordo" ou "concordo totalmente". Em relação à questão Q2.1 ("Você acha que o uso do WID/OEE pode ser relevante para a sua empresa?") mais de 80% dos participantes deram um feedback "concordo totalmente". Isso é um feedback muito encorajador para o potencial do WID. Os resultados menos positivos obtidos ("discordo" ou "discordo totalmente") corresponde a aproximadamente a 5% das respostas, especificamente nas perguntas Q1.5, Q1.6, Q1.7, Q1.11, Q1.12, Q1.15, Q2.2, Q2.6, Q2.7. No entanto neste comportamento, pode ser interessante também analisar se o feedback de todas as cinco empresas é exatamente o mesmo.

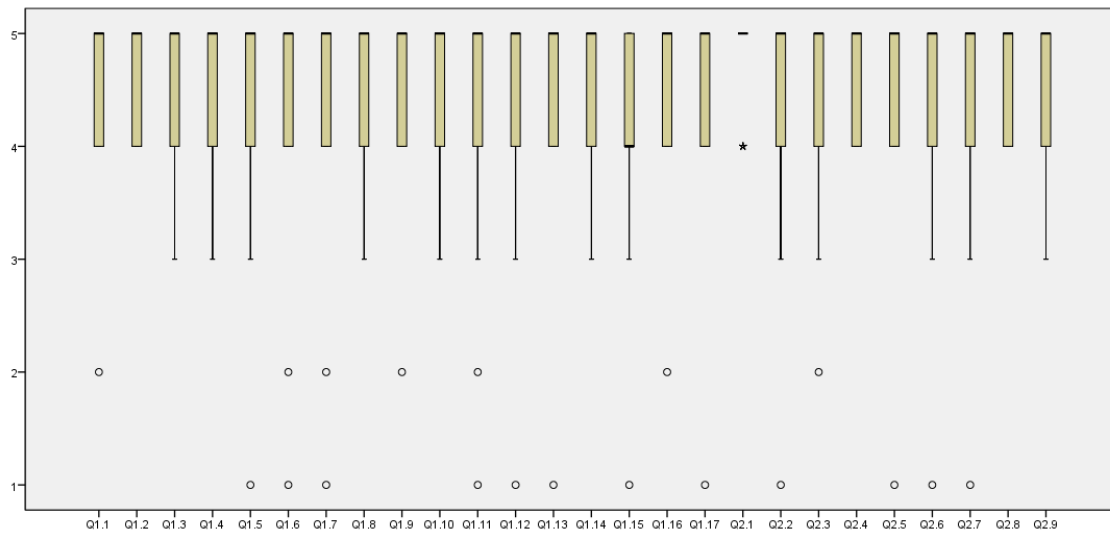


Figura 37 - Distribuição geral de respostas por questão

A Figura 38 representa as respostas obtidas de todos os participantes em cada empresa relativos à primeira parte das questões (relevância das informações e a eficácia visual). No geral, a maioria das opiniões foram positivas sendo 75% com resultados ≥ 4 (concordo) nas empresas A, B, C e D e mais de 90% na empresa E com resultados = 5 (Concordo). Foram identificados alguns valores extremos: 1 (discordo totalmente) e 2 (Discordo) na empresa C, 2 (Discordo) na empresa D e C (Não concordo nem discordo) e 4 (concordo) na empresa E.

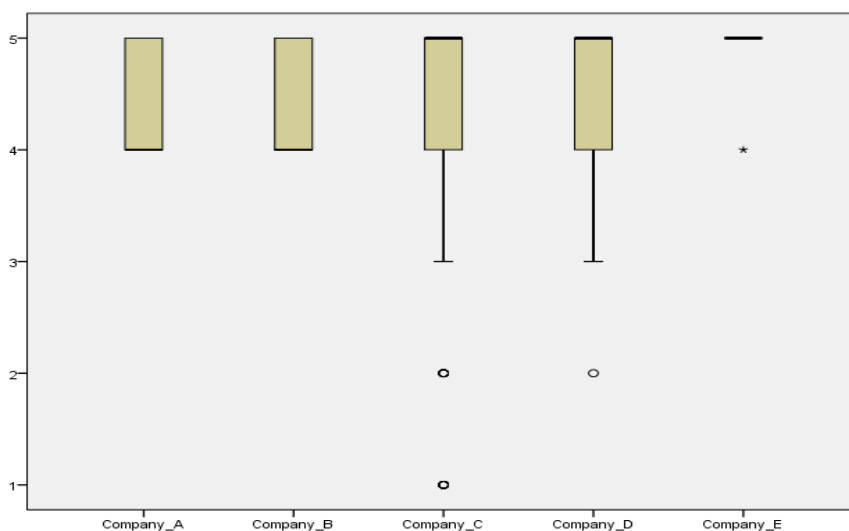


Figura 38 - Box plot da 1ª parte do questionário

Com base nas respostas, a distribuição das opiniões sobre a relevância das informações e a eficácia visual não são idênticas entre as empresas ($H(4) = 41,66, p \ll .001$). Ao observar os dados, pode se identificar que existe na Empresa E uma diferença estatística significativa, mostrando valores mais elevados (com *mean rank score* 251,06 para a empresa A, 243,74 para B, 240,03 para C, 268,41 para D e 373,12 para a empresa E). Para as quatro empresas A, B, C e D, as opiniões sobre a relevância da informação e da eficácia visual são idênticas ($H(3) = 3,68, p = 0,30$).

O boxplot da Figura 39 mostra o resultado da segunda parte do questionário que se refere ao impacto do WID/OEE na empresa. A empresa com o maior percentual de "Concordo totalmente" foi a empresa E com 78%, seguido pela empresa A, com 72%, seguida da empresa D, com 62%, a empresa C com 62% e a empresa B, com 48%. Por outro lado sobre as respostas menos positivas ("Discordo" e "Discordo totalmente"), apenas os participantes das empresas C e D deram respostas deste tipo, sendo a empresa C, com maior percentagem, com 6% de respostas "discordo totalmente" e 2,2% de respostas "discordo", e a empresa D com 1% de "Discordo" respostas.

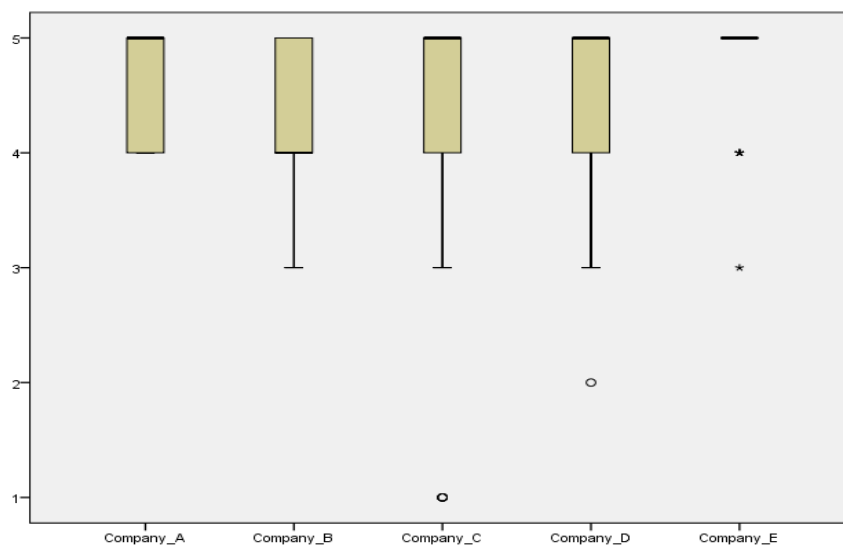


Figura 39 - *Boxplot* da 2ª parte do questionário

Com base nas respostas, a distribuição das opiniões sobre o impacto do WID/OEE nas empresas não são idênticas entre as empresas ($H(4) = 10,53, p < 0,05$). Ao observar os dados, pode ser identificada que a empresa B possui uma diferença estatística significativa, apresentando valores mais baixos (com *mean rank score* 152,56 para a empresa A, 117,93 para B, 133,91 para C, 145,01 para D e 158,20 para a empresa E). Para as quatro empresas A, C, D e E, as opiniões sobre o impacto da WID na empresa são idênticas ($H(3) = 3,46, p = 0,33$).

Para entender se as respostas obtidas por questões tem efeitos idênticos independentemente da empresa uma nova análise foi realizada. Apenas para a pergunta 16 da 1ª parte do questionário (Q1.16: "Você acha relevante a distribuição de blocos de acordo com *layout*?") que existe uma diferença estatisticamente significativa nas respostas entre as cinco empresas ($H(4) = 10,53, p = 0,032$). Portanto, pode-se dizer que não há um consenso no uso prático de informações de layout no WID/OEE. Ficando a empresa B com um valor baixo e a empresa E com valor alto (Figura 40).

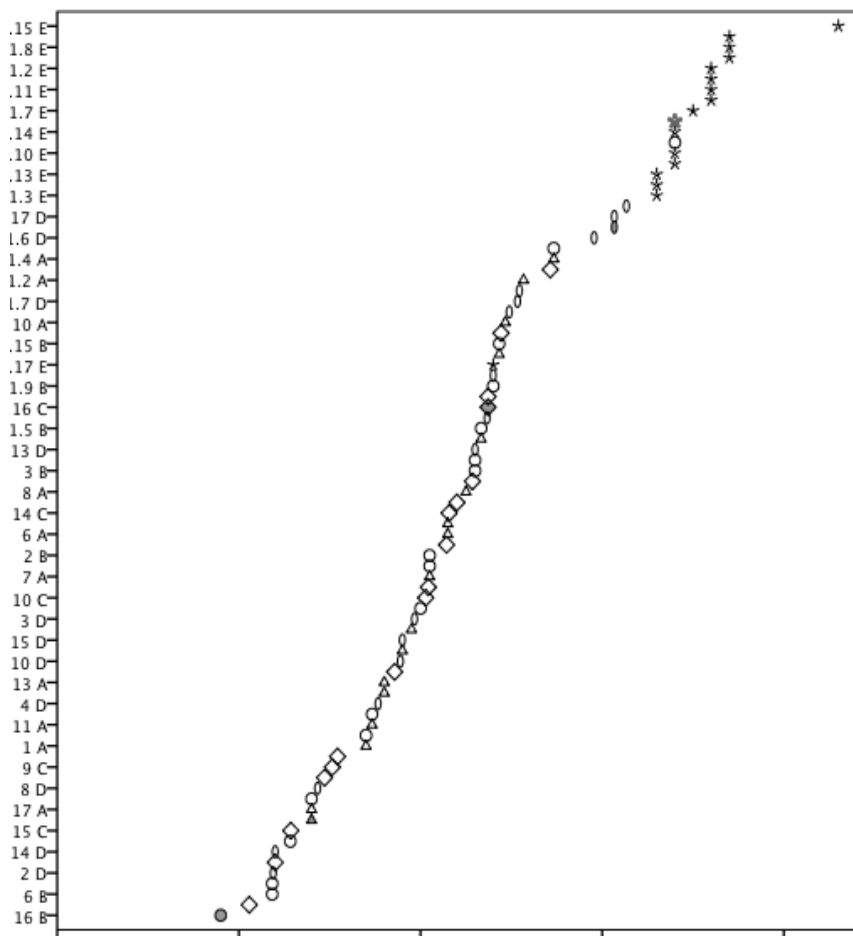


Figura 40 – Mean rank da 1ª parte do questionário por empresa (Δ A; \circ B; \square C; \diamond D; $*$ E)

Analisando a 2ª parte do questionário, pode-se observar que, no entanto, as diferenças obtidas, elas não são significativas ($p > 0,05$, para todas as perguntas). A pergunta 4 da 2ª parte (Q2.4: "Você acha que o WID/OEE aplicado na sua empresa pode conseguir representar uma visão geral do processo?"), que foi obtida a maior diferença de comportamento: com a empresa B, com valores mais baixos e a empresa E com maior valor ($H(4) = 8,763$, $p = 0,06$) (Figura 41).

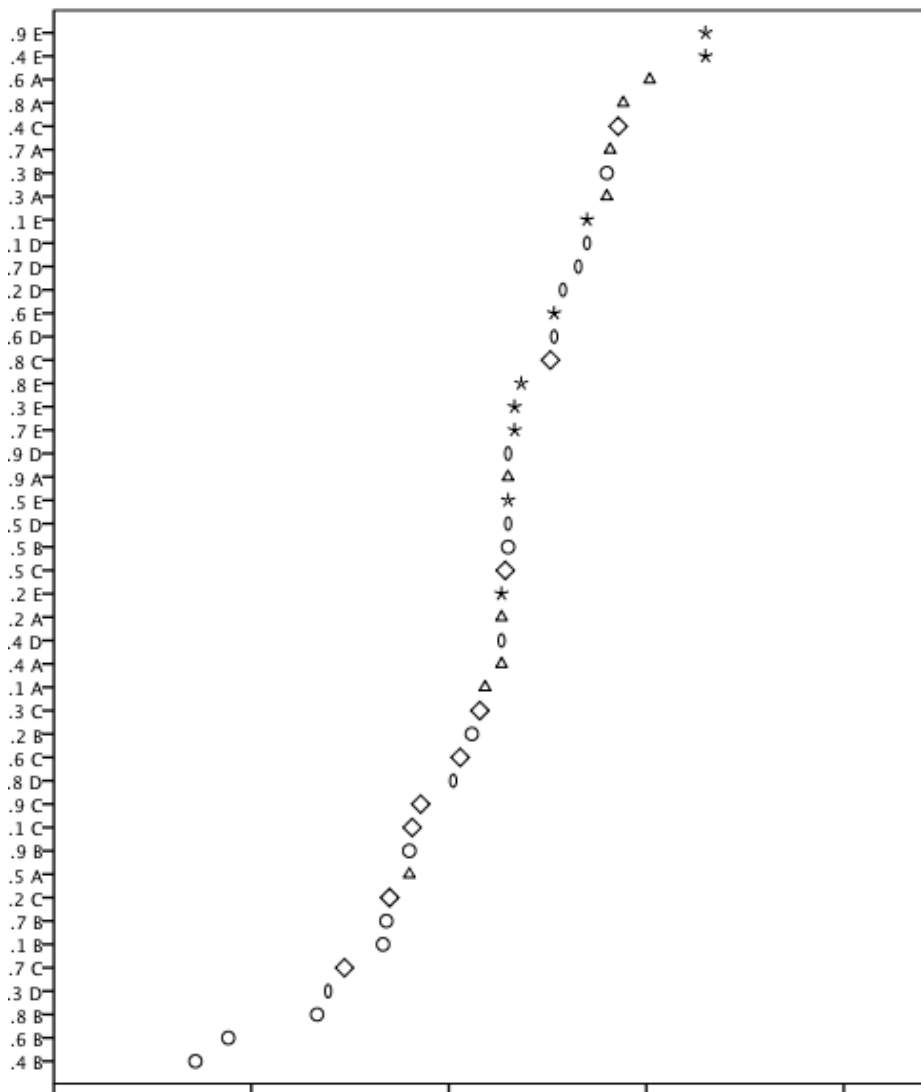


Figura 41 - Mean ranks da 2ª parte do questionário por empresa (Δ A; ○ B; ◇ C; *D; *E)

Com relação a questão 1.18 (Quais outras vantagens/desvantagens você identifica no WID/OEE? Favor acrescentar comentários) é uma questão subjetiva e os comentários dos participantes são resumidas a seguir:

- Pontos positivos: Exemplos: "Gerenciamento visual fácil e bem elaborado"; "A disposição do diagrama de acordo com o *layout* da linha de produção"; "A

demonstração gráfica do esforço de transporte"; "A distribuição das perdas nos postos de trabalho"; "Ajuda a identificar oportunidades de melhoria nas perdas de paragens"; "Mostra todas as etapas de um processo que outras ferramentas conhecidas não mostram";

- Pontos negativos: "Colocar legenda ao lado do fluxo"; "Representar os desperdícios com mão-de-obra em um gráfico de radar".

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo mostra os resultados relacionados ao desenvolvimento do WID/OEE e aplicação numa empresa de semicondutores do norte de Portugal (capítulo 3), a comparação do WID/OEE com a ferramenta VSM (capítulo 4) e por fim a avaliação de eficácia após a aplicação em 5 empresas (capítulo 5).

6.1 Resultados da inclusão do OEE no WID

Os resultados apresentados no capítulo 3 após o desenvolvimento e a aplicação do WID/OEE em uma empresa de semicondutores, puderam mostrar as vantagens em incluir dados OEE na representação gráfica do WID uma vez que passam a ser visuais as perdas reais relacionadas com paragens planeadas, paragens não planeadas, com velocidade e com qualidade. Esta nova versão do WID proposta nesta tese mantém a capacidade de representar a unidade produtiva com informações visuais e intuitivas referentes a desperdícios no processo, desperdícios com mão-de-obra e seus valores, *layout* inadequado, processos com capacidade disponível, processos críticos (neste caso o processo de SBA) e indicadores. Podemos dizer que este novo WID permite assim ter um diagnóstico mais eficaz da unidade de produção e com isso traçar plano de ações utilizando conceitos *lean* para a definição de estados futuros.

Com os parâmetros do OEE integrados com o WID, foi possível observar as grandes oportunidades existentes na unidade produtiva e principalmente no SBA, que é o processo crítico, as paragens planeadas e não planeadas representam no processo SBA um potencial ganho de capacidade de até 34 *Wafers*/turno (sendo 32 *Wafers*/turno nas paragens planeadas e 2 *Wafers*/turno em paragens não planeadas), ou seja, um aumento de até 7% na capacidade se conseguir reduzi-las. Com relação as perdas de velocidade e qualidade, elas representam uma perda de 20 *Wafers*/turno (sendo 19 *Wafers*/turno em perdas de velocidade e 1 *Wafer*/turno em perdas de qualidade), que representa um ganho de aproximadamente 10% de produção em caso de redução destas perdas.

Algumas opiniões dos integrantes do time de IE e dos gestores são descritas a seguir: “ferramenta de fácil interpretação que ajudará bastante no IE assessment”; “apesar de muito trabalhosa na hora de representar a unidade produtiva o WID ajuda muito no diagnóstico das áreas”; “mais fácil de compreender do que o VSM e será de bastante valia no IE assessment”

6.2 Resultados da comparação do VSM e o WID/OEE

Quanto à comparação do WID/OEE com o VSM no capítulo 4, é possível verificar várias diferenças entre eles. O primeiro impacto causado pelo WID/OEE é sua capacidade visual, pois permite uma identificação fácil e intuitiva das principais fontes de desperdícios. Fluxos de produção são bem definidos e as informações de cada estação de trabalho é clara e concisa, permitindo uma rápida percepção do número de operadores e outros parâmetros importantes, como o *takt time* do turno, *takt time* planejado, *takt time* útil, tempo útil da estação, tempo ideal da estação, tempo de *setup*, paragens planeadas e não planeadas, perdas de velocidade e qualidade. No caso VSM (Figura 27), para visualizar este tipo de informações, é necessário mais tempo e é necessário analisar em detalhe a caixa de dados de cada estação de trabalho. Por exemplo, no VSM, para identificar a quantidade de WIP em cada estação de trabalho é necessário antes verificar as informações escritas no triângulo; enquanto no WID/OEE, esta informação além de ser numericamente indicada também é representado visualmente (pela largura do bloco). O conjunto de informações no VSM é mais confuso e a utilização de vários símbolos pode levar a uma falta de compreensão por pessoas não familiarizadas com a ferramenta. Em contraste, o WID/OEE utiliza um conjunto mais simples de símbolos, facilitando o processo de compreensão e identificação de desperdícios. O questionário aplicado a alunos de engenharia industrial e profissionais de engenharia industrial serviu para mostrar que o percentual de acertos e o tempo necessário para interpretar as informações no WID/OEE é melhor do que no VSM.

No geral, os resultados quantitativos mostraram que a interpretação correta da realidade representada pelo WID/OEE é de 87,1%, enquanto para o VSM o valor é de 71,9%. Além disso, o tempo médio necessário para interpretar o WID/OEE foi de 4 minutos, contra 8 minutos para o VSM. Assim, a chamada eficácia global indica 21,8% de interpretações corretas por minuto no caso de WID/OEE e apenas 9% no caso do VSM.

Em termos mais específicos, os alunos de engenharia industrial alcançaram um percentual maior de interpretações corretas ao utilizar o WID/OEE em todos os aspectos, exceto para a questão A7 (Qual processo com maior tempo de *setup*). O mesmo se passou com os profissionais de engenharia industrial, exceto para questão A6 (Qual o processo com maior capacidade disponível?). Especificamente sobre o WID/OEE (perguntas B1 a B7), estudantes e profissionais reconhecem claramente a relevância da maioria dos elementos de informação

(informações de *layout*, desperdícios, transporte, desperdícios relacionados com mão-de-obra, etc.).

Na perspectiva qualitativa (Pergunta B8), os estudantes e profissionais de IE reconhecem que o WID/OEE fornece uma visualização mais fácil das informações da unidade de produção e é mais fácil de interpretar do que VSM. A principal desvantagem apontada para o WID é a ausência de representação do fluxo de informação.

6.3 Resultados da avaliação de eficácia do WID/OEE

No capítulo 5 o WID/OEE foi aplicado em 5 empresas brasileiras do polo industrial de Manaus, sendo três empresas do segmento eletrônico, uma empresa do segmento de bebidas e uma empresa do segmento de pneus. Questionários foram aplicados aos gestores dessas empresas com o objetivo de avaliar a eficácia da representação das informações do WID/OEE e o impacto do WID/OEE nestas empresas.

Os resultados obtidos após comparação de todas as respostas das 31 questões aplicadas a todos os participantes foram que 75% das respostas foram positivas entre 4 e 5 (“concordo” e “concordo totalmente”) e aproximadamente 5% das respostas foram negativas entre 1 e 2 (“discordo” e “discordo totalmente”).

Os resultados das respostas por empresa foram divididas na primeira e segunda parte do questionário (relevância das informações/ eficácia visual e impacto do WID/OEE na empresa respectivamente). Com relação a primeira parte do questionário após se aplicar o teste não paramétrico de Kruskal- Wallis foi observado que a distribuição das opiniões não são idênticas entre as empresas ($H(4) = 41,66, p <<0.001$) e que existe diferença estatisticamente significativa na empresa E (*mean rank score* 373,12). Para as quatro empresas restantes (A, B, C e D), as opiniões são idênticas ($H(3) = 3,68, p = 0,30$).

Na segunda parte do questionário a distribuição das opiniões sobre o impacto do WID/OEE também não são idênticas entre as empresas ($H(4) = 10,53, p <0,05$) e identificou-se uma diferença estatisticamente significativa na empresa B (com *mean rank score* 117,93). Para as quatro empresas restantes (A, C, D e E), as opiniões sobre o impacto da WID na empresa são idênticas ($H(3) = 3,46, p = 0,33$).

A outra análise realizada foi verificar se as respostas tem efeitos idênticos independentemente da empresa. Para a primeira parte do questionário somente a questão Q1.16 (“Você acha relevante a distribuição de blocos de acordo com *layout*?”) teve uma diferença

estatisticamente significativa ($H(4) = 10,53, p = 0,032$), ou seja, não existe um consenso que seja relevante a distribuição de blocos de acordo com o *layout*. Esta mesma análise na segunda parte do questionário e não obteve-se diferenças estatisticamente significativas, ou seja, $p > 0,05$ para todas as perguntas.

7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento de um modelo para representação visual de unidades produtivas que seja eficaz na análise e diagnóstico é certamente bastante relevante no cenário da engenharia industrial atual. O modelo proposto nesta tese pode ajudar organizações de diferentes setores industriais a identificar os aspetos mais relevantes da qualidade organizacional de unidades produtivas tais como a capacidade produtiva disponível, os processos críticos, os *layouts* inadequados, os desperdícios e os aspetos de utilização de mão-de-obra.

O WID (*“Waste Identification Diagram”*), na versão existente no início deste projeto, foi utilizado como base para o desenvolvimento deste modelo mais desenvolvido e foi aplicado numa unidade produtiva de uma indústria de semicondutores do norte de Portugal. Os parâmetros do OEE (*“Overall Equipment Effectiveness”*) foram integrados aos blocos do WID de base com objetivo de atender às necessidades da empresa em estudo e isso levou ao desenvolvimento de um modelo avançado do WID denominado aqui de modelo WID/OEE. Novas vertentes de takt time e de tempo da estação foram criadas para poder observar o peso que as paragens planeadas, paragens não planeadas, perdas de velocidade e perdas de qualidade tinham no desempenho da unidade produtiva. Este novo modelo foi bem aceite e elogiado pelos gestores da empresa e foi utilizado como ferramenta para mapeamento de outros processos servindo como base para plano de ações baseadas nas ferramentas lean.

A avaliação da eficácia da representação da informação foi realizada através da comparação entre o VSM (*“Value Stream Mapping”*) e WID/OEE, para isso questionários referentes a representações da mesma unidade produtiva no formato WID/OEE e no formato VSM foram aplicados para um grupo de estudantes e para profissionais de engenharia industrial em geral. Além das análises estatísticas realizadas e apresentadas, um indicador de eficácia global foi criado para medir a relação entre o percentual de acertos e o tempo necessário para interpretar a informação visual. Desta análise chegou-se à conclusão que para o WID/OEE os participantes desta experiência acertaram aproximadamente 22% das questões por minuto enquanto no VSM somente 9% das questões por minuto foram acertadas. Vale ressaltar que a maioria dos participantes já estavam familiarizados com o VSM, mostrando com isso a facilidade e a rapidez que o WID/OEE possui com relação ao VSM na interpretação de informações.

Com relação ao primeiro grupo de questões (referentes a interpretação do WID/OEE e VSM) a Tabela 5 confirma que a ferramenta que obteve melhor desempenho foi o WID/OEE, com exceção da questão A7 (Qual o processo com maior tempo de *setup*?) com 67,7% e 97,2% de acertos para WID/OEE e VSM, respectivamente. Neste caso no VSM para responder a pergunta A7 os participantes liam o valor do tempo de *setup* direto nas caixas de dados, enquanto no WID/OEE os participantes podem tomar uma decisão, simplesmente olhando para a profundidade do bloco e decidir com base na aparência visual, podendo em alguns casos ter uma interpretação errada.

O 2º grupo de questões foi aplicado somente para os participantes que avaliaram o WID/OEE, e foi baseado em questões relacionadas a opiniões subjetivas na qual todas as opiniões foram positivas ≥ 3 (“concordo ou concordo totalmente”). Com exceção da questão B7 (Você vê alguma vantagem sobre a inclusão de ícones com operadores?).

Uma outra análise foi levada a cabo para validar o modelo desenvolvido aplicando-o em várias empresas. Para este novo estudo, cinco empresas de diferentes setores de atividades do Polo Industrial de Manaus foram selecionadas para aplicar o modelo WID/OEE e avaliar a eficácia de sua utilização e impactos causados nestas empresas foram avaliados. Questionários aplicados a gestores de diferentes áreas foram usados para medir esses indicadores e com a ajuda de ferramentas e testes estatísticos pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- Mais de 75% das respostas foram positivas (“concordo ou concordo totalmente”), ou seja, uma boa aceitabilidade do WID/OEE em todas as empresas.
- A distribuição de opiniões sobre a relevância das informações e a eficácia visual do WID/OEE (1º parte do questionário) são idênticas em 4 das 5 empresas, havendo uma diferença estatística significativa na 5ª empresa, que obteve mais de 90% das respostas dos gestores “concordo totalmente” (5).
- A distribuição de opiniões sobre o impacto do WID/OEE nas empresas (2ª parte do questionário) são idênticas em 4 das 5 empresas, havendo uma diferença estatística significativa numa das empresas, que obteve mais de 40% das respostas dos gestores “concordo” (4).

Com isso pode-se concluir que o WID/OEE é uma alternativa para representação de unidades produtivas, de simples entendimento e sendo bem aceite pelos profissionais de diversas

atividades industriais, como foi observado nas aplicações e testes realizados. Todos os resultados obtidos estão alinhados com os objetivos da tese.

O WID/OEE também pôde ser utilizado como ferramenta de melhoria contínua, que representou estados atuais e também pode representar estados ideais e estados futuros tal como o VSM. Uma vez que a representação visual está diretamente relacionada com indicadores de desempenho há ganhos interessantes que podem ser conseguidos com esta ferramenta. Os estados futuros, além de serem representados graficamente, podem também incluir os valores esperados para os indicadores de desempenho que podem ser calculados diretamente pelas alterações esperadas.

Finalmente, em termos de trabalho futuro, devido à dificuldade na construção do diagrama surge a necessidade do desenvolvimento de uma ferramenta de software para ajudar nesta construção. Tal ferramenta de software que automatize o processamento de algumas das construções gráficas e garanta a computação dos dados de indicadores de desempenho. Com isso a construção do diagrama se tornaria mais prática e o cálculo dos indicadores seria feito automaticamente, tornando a tomada de decisão mais rápida sobre as propostas alternativas de melhoria contínua.

BIBLIOGRAFIA

- Abdulmalek, F. A. and Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223-236.
- Adair, C. B., and Murray, C. B. A. B. A. (1996). *Revolução total dos processos*. NBL Editora.
- American Society of Mechanical Engineers (1947). *ASME standard; operation and flow process charts*. New York. ASME.
- Barnes, R.M. (1968). *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*. Wiley.
- Bedworth, D. D. and Bailey, J. J. (1987) *Integrated Production Control Systems*. John Wiley & Sons.
- Beesley, A., (1994)“A need for time-based process mapping and its application in procurement”, *Proceedings of the 3rd Annual IPSERA Conference*, University of Glamorgan,pp. 41-56.
- Braglia, M., Carmignani, G., and Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International Journal of Production Research*, 44(18-19), 3929-3952.
- Carreira, B. (2005). *Lean manufacturing that works: powerful tools for dramatically reducing waste and maximizing profits*. AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Chen, J. C., Christy, B. D., (1998). A TQM approach for designing and building dedicated machines and equipment in-house. *The international journal of advanced manufacturing technology*, vol:14 iss:8 pg:563 -569. ISSN: 0268-3768.
- Chitturi, R. M., Glew, D. J. and Paulls, A. (2007). Value Stream Mapping in a Jobshop. *Paper presented at the IET International Conference on Agile Manufacturing*. ICAM 2007.
- Coimbra, E. A. (2009). *Total Management Flow: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.
- Courtois A., Martin C., Pillet M., *Gestão da Produção, 4ª Edição*, Lidel – Edições Técnicas, 1997.
- Cudney, E. (2009). Using Hoshin Kanri to Improve the Value Stream: Productivity Press. European_Commission. *Manufuture, a Vision for 2020*. Brussels: European Commission.
- Dinis-Carvalho, J., Moreira, F., Bragança, S., Costa, E. and Alves, A. (2014). Production Planning and Control: The Management of Operations Waste identification diagrams. *Production Planning et Control: The Management of Operations*, (June 2014), 37–41. doi:10.1080/09537287.2014.891059.
- Eckes, G. (2001). *A revolução seis sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro*. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campos.
- Figueiredo, A., Souza, S. (2011). *Como elaborar, projetos, monografias, dissertações e teses*. Lumen Juris, 4ed. Rio de Janeiro.

- Forza, C., Vinelli, A. and Filippini, R., (1993) “Telecommunication services for quick response in the textile-apparel industry”, *Proceedings of the 1st International Symposium on Logistics*, The University of Nottingham, pp. 119-26.
- Forrester, J. (1958) Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers, *Harvard Business Review*, July-August, 37-66.
- Ghiglione, R., Matalon, B. (2001). *O Inquérito: teoria e prática*. Oeiras: Celta Editora.
- Groover, M. P. (2007) *Work Systems and Methods, measurement, and Management of Work*. Pearson Education International, ISBN 978-0-13-140650-6.
- Hansen, R. C. (2006). *Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de manutenção/produção para aumento dos lucros*. Porto Alegre: Bookman.
- Hicks, C., Heidrich, O., McGovern, T., and Donnelly, T. (2004). A functional model of supply chains and waste. *International Journal of Production Economics*, 89(2), 165-174.
- Hines, P., and Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations and Production Management*, 17(1), 46–64. doi:10.1108/01443579710157989.
- Hines, P., and Taylor, D. (2000). *Going lean*. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre.
- Hoekstra, S. and Romme, S. (1992). (Eds), *(Towards Integral Logistics Structure – Developing Customer-Oriented Goods Flows*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Huang, S.H., Dismukes, J.P., Mousalam, A., Razzak, R.B. and Robinson, D.E., (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *Int. J. Prod. Res.*, 2003, 41, 513–527.
- Hunt, V. D. 1996. *Process Mapping – how to reengineer your business processes*. John Wiley and Sons, Canada.
- Irani, S. A., and Zhou, J. (1999). *Value Stream Mapping of a Complete Product*. MS thesis, The Ohio State University, Columbus, OH.
- Jessop, D. and Jones, O., (1995) “Value stream process modelling: a methodology for creating competitive advantage”, *Proceedings of the 4th Annual IPSERA Conference*, University of Birmingham.
- Juran, J. M., and De Feo, J. A. (2010). *Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence*. McGraw Hill.
- Kemper, B., de Mast, J., and Mandjes, M. (2010). Modeling Process Flow Using Diagrams. *Quality and Reliability Engineering International*, 26(4), 341-349.
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *MIT Sloan Management Review*, 30(1), 41.
- Lasa, I. S., R. Castro, and C. O. Laburu. (2009). “Extent of the Use of Lean Concepts Proposed for a Value Stream Mapping Application.” *Production Planning and Control* 20 (1): 82–98.
- Laureano, R. M. (2011). Testes de hipóteses com o SPSS: o meu manual de consulta rápida. *Lisboa: Edições Sílabo*.
- Leachman R C, Leachman C H (2002) *Globalization of semiconductors: do real men have fabs or virtual fabs?* University of California at Berkeley. CA, EUA.

- Lehtinen, U., and Torkko, M. (2005). The Lean Concept in the Food Industry: A Case Study of Contract a Manufacturer. *Journal of Food Distribution Research*,36(3).
- Lian, Y. H., and van Landeghem, H. (2007). Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator. *International Journal of Production Research*, 45(13), 3037-3058.
- Liker, J. K. (2005) O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Bookman.
- Likert, R. (1932), "A Technique for the Measurement of Attitudes", *Archives of Psychology* **140**: pp. 1-55.
- Little, J. D. C. (1961). "A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$ ". *Operations Research* 9 (3): 383–320
- Macbeth, D. and Ferguson, N. (1994). *Partnership Sourcing: An Integrated Supply Chain Approach*, Pitman Publishing, London.
- Miles, L., (1961) *Techniques of Value Analysis and Engineering*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Moura, R. A. (2005). *Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais*. 5. ed. Ver. São Paulo: IMAM.
- Nakajima, S. (1998). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA: Productivity.
- Neumann, W. P., and Medbo, L. (2010). Ergonomic and technical aspects in the redesign of material supply systems: Big boxes vs. narrow bins. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(5), 541-548.
- New, C. (1974) "The production funnel: a new tool for operations analysis", *Management Decision*, Vol. 12 No. 3, pp. 167-78.
- New, C. (1993) "The use of throughput efficiency as a key performance measure for the new manufacturing era", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 4 No. 2, pp. 95-104.
- Nogueira, M. A. A. (2010), *Implementação da Gestão da Produção Lean: Estudo de Caso*, Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*: Productivity press.
- Oliveira, E. R., e Ferreira, P. (2014). *Métodos de Investigação: Da Interrogação à Descoberta Científica*. Vida Economica Editorial.
- Paranhos F., M. (2007). *Gestão da Produção Industrial*. 20. Ed. Curitiba, Ibepex.
- Phillips, J., Simmonds, L. (2013). Change Management tools 3: use of process mapping in service improvement. *Nursing Times*. v. 109 n. 17/18, p. 24-26.
- Productivity Press Development Team (1998). *Just In Time for Operators*. Portland, Productivity Press.

- Pude, M. G. C., Naik, G. R., and Naik, P. G. (2012) Application of Value Stream Mapping Tools For Process Improvement a Case Study in Foundry.
- Queiroz, J. A., Rentes, A. F., Araujo C. A. C. (2004). *Transformação enxuta: aplicação do mapeamento do fluxo de valor de uma situação real*. Disponível em <<http://www.hominiss.com.br/artigos.asp>> Acesso em: 28 março 2015.
- Rahani, A.R. and Muhammad, A. (2012). Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012*. Procedia Engineering 41 (2012) 1727 – 1734.
- Rother, M., Shook, J. (2003). *Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para acrescentar valor e eliminar o desperdício*. São Paulo: Lean Institute do Brasil.
- Sá, J.C. Carvalho, J.D. and Sousa, R.M., (2011). *Waste Identification Diagrams*. 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia.
- Sá, J. C. (2010). *Modelo de Análise e Diagnostico de uma Unidade Produtiva*, Dissertação de Mestrado em Qualidade, Segurança e Manutenção/ Engenharia Industrial, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- Saunders, M. N., Saunders, M., Lewis, P., and Thornhill, A. (2011). *Research methods for business students, 5/e*. Pearson Education India.
- Schein, E. (1999) *Process Consultation Revisited: Building the Helping Relationship*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Serrano, I., Ochoa, C., and De Castro, R. (2008). Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign. *International Journal of Production Research*, 46(16), 4409-4430.
- Shararah, M. A., El-Kilany, K. S., and El-Sayed, A. E. (2010). Component Based Modeling and Simulation of Value Stream Mapping for Lean Production Systems.
- Shannon, P. (1997), The value-added ratio, *Quality Progress*, Vol: 30, Iss: 3, pp. 94-97.
- Shintate, J. H., (2002) *Modelos de Negócios de Produção e Condições de Inserção da Indústria de Circuitos Integrados no Brasil*. Trabalho de Formatura, Escola Politécnica da USP.
- Singh, B., Garg, S. K., and Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(5-8), 799-809.
- Slack, N; Chambers, S; Harland, C; Harrison, A and Johnston, R. (1997) *Administração da Produção*. Editora Atlas, SP.
- Tapping, D., Luyster, T. and Shuker, T., (2002). *Value Stream Management - Eight Steps to planning, mapping, and sustaining Lean Improvements*. New York: Productivity Press.
- Teichgraber, U.K.; and Bucourt, M. (2012). Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents. *European Journal of Radiology* 81 (2012) e47– e52.
- Team, P. P. D. (1998). *Just In Time for Operators*. Portland, Productivity Press.

Villarreal, B. (2012). The transportation value stream map (TVSM). [Article]. *European Journal of Industrial Engineering*, 6(2), 216-233.

Womack, J. P., Jones, D. T., and Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production: How Japan's Secret Weapon in the Global Auto Wars Will Revolutionize Western Industry*. New York, NY: Rawson Associates.

Womack, J. P., and D. T. Jones. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Organisation*. New York: Simon and Shuster. 397.

Womack J. P., Jones, D. T., Ross, D. (2004). *A mentalidade enxuta nas empresas lean thinking: elimine o desperdício e crie riqueza*. Rio de Janeiro: Elsevier.

Xinyu, L., and Li, J. (2009). "Research on the Integration of the Methods of Enterprise Value Stream and Material Flow". Paper presented at the IEEE 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Beijing.