Universidade de Aveiro
2012

Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial

Mário António Vaz Ribeiro

Análise do *Value Stream Mapping* na Produção de Pás Eólicas: o caso Riablades

Universidade de Aveiro Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial
2012

Mário António Vaz Ribeiro

Análise do *Value Stream Mapping* na Produção de Pás Eólicas: o caso Riablades

Relatório de projecto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Prof. Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
professora auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial – Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Manuel Vilas-Boas da Silva
professor auxiliar do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e das Empresas – Instituto Universitário de Lisboa

Prof. Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira
professor auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial – Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Professor Doutor Luís Miguel Ferreira, orientador deste projeto, pelo seu acompanhamento e incentivo ao longo deste trabalho.

Ao Eng.º Paulo Silva e ao Paulo Rocha pela orientação e transmissão de conhecimentos durante o meu estágio.

A todos os elementos da Riablades, SA que de alguma forma me ajudaram ao longo de todo o período do estágio.

A toda a minha família e amigos, em especial aos meus pais e irmãos pelo apoio e por estarem sempre presentes.

palavras-chave

mapeamento da cadeia de valor, lean, kaizen, sistema de produção da toyota.

resumo

O Value Stream Mapping (VSM) é uma ferramenta integrada na filosofia de gestão Lean que tem provado a sua eficiência no apoio à identificação e eliminação de desperdícios em diversas áreas da indústria e prestação de serviços. Este projeto tem como objetivo analisar a cadeia de valor do processo produtivo de pás eólicas na empresa Riablades através da aplicação do VSM. Utilizando esta ferramenta foram representadas as várias etapas que compõem o processo produtivo, as suas ligações e fontes de desperdício. Inicialmente é feito o mapeamento do fluxo de valor atual, identificando as atividades que acrescentam ou não valor ao produto final. De seguida é analisado o mapa resultante e são feitas propostas de melhoria utilizando os princípios Lean. Por fim, a partir dos resultados dessa análise é desenvolvido o mapa do estado futuro do processo produtivo.

keywords value stream mapping, lean, kaizen, toyota production sistem.

abstract

The Value Stream Mapping (VSM) is a tool integrated into the Lean management philosophy that has proven its effectiveness in supporting the identification and elimination of waste in various areas of industry and services. This project aims to analyze the value chain of the production process of wind blades in the company Riablades through the application of VSM. Using this tool the various stages that make up the production process, their connections and sources of waste were shown. Initially the value flow mapping of the current state is done, identifying the activities that add value or not to the final product. Then the resulting map is analyzed and proposals are made for improvement using Lean principles. Finally, from the results of this analysis are developed a future state map of the production process.

Índice

I – Introdução 1
II – Sistema de Produção *Lean* 3
II.1 – *Toyota Production System* 3
II.2 – Princípios da filosofia *Lean* 4
II.2.1 – Valor 5
II.2.2 – Cadeia de valor 6
II.2.3 – Fluxo de valor 6
II.2.4 – *Pull* 7
II.2.5 – Perfeição 7
II.3 – O conceito de desperdício 7
II.4 – Ferramentas Lean 11
II.4.1 - 5S 11
II.4.2 – *Total Quality Management* (TQM) 12
II.4.3 – *Single Minute Exchange of Die* (SMED) 14
II.4.4 – *Total Preventive Maintenance* (TPM) 16
II.4.5 – Células de Produção 16
II.4.6 – *Just in Time* 16
II.4.7 – *Kanban* 17
II.4.8 – *Value Stream Mapping* (VSM) 17
II.4.8.1 – VSM: 1º Passo - Definir o produto ou família de produtos a analisar 18
II.4.8.2 – VSM: 2º Passo – Mapear o estado atual do processo 19
II.4.8.3 – VSM: 3º Passo – Criação do mapa futuro 20
II.4.9 – VSM: 4º Passo – Implementação 22
II.4.10 – Desvantagens do VSM 22
II.4.11 – Exemplo da aplicação do VSM: Indústria 23
II.4.12 – Exemplo da aplicação do VSM: Medicina 25
II.4.13 – Relevância do VSM no caso de estudo 27
III – Caso de Estudo 29
III.1 – Apresentação da empresa 29
III.1.1 – Suzlon 29

III.1.2 – REpower 29
III.1.3 – Riablades 30
III.2 – O produto 30
III.3 - Enquadramento do caso de estudo 37
III.4 – VSM atual 37
III.4.1 – Cálculo do *Takt Time* 37
III.4.2 – Cálculo do tempo de ciclo 39
III.4.3 – Construção do VSM atual 41
III.4.3.1 – Root Joints 43
III.4.3.2 – Webs 46
III.4.3.3 – Girders 48
III.4.3.4 – Main Shell 49
III.4.3.5 – Pá Colada 51
III.4.4 – VSM futuro 53
Conclusões 59
Bibliografia 61

Índice de Figuras

FIGURA 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES PELO DESPERDÍCIO 8
FIGURA 2 - OS SETE DESPERDÍCIOS 8
FIGURA 3 - TRIOLOGIA DA QUALIDADE 13
FIGURA 4 - CUSTOS VOLUNTÁRIOS E INVOLUNTÁRIOS 14
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DO FLUXO DE VALOR 17
FIGURA 6 - QUATRO ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DO VSM 18
FIGURA 7 - EXEMPLO DO MAPA DE FLUXO DE VALOR ATUAL 20
FIGURA 8 - EXEMPLO DO MAPA DE FLUXO DE VALOR FUTURO 22
FIGURA 9 – MAPA DO ESTADO ATUAL DA PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE ALGODÃO 24
FIGURA 10 – MAPA DO ESTADO FUTURO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE ALGODÃO 25
FIGURA 11 - MAPA DO ESTADO INICIAL DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÉDICO 26
FIGURA 12 – MAPA DO ESTADO FUTURO DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÉDICO 27
FIGURA 13 - EVOLUÇÃO DE ENCOMENDAS ACUMULADAS POR REGISTO DE DATAS 29
FIGURA 14 – VOLUME DE PRODUÇÃO DA PÁ RE45 30
FIGURA 15 - PARTES DE UMA TURBINA HAWT 31
FIGURA 16 – PÁ EÓLICA RE45 32
FIGURA 17 - PEÇAS DE UMA PÁ EÓLICA 32
FIGURA 18 - SEQUÊNCIA DA MONTAGEM DE UMA PÁ EÓLICA 33
FIGURA 19 - PASSOS DA PRODUÇÃO DAS MAIN SHELLS E PRE-FABS 33
FIGURA 20 – PÁ EÓLICA SELADA POR UMA RCO 35
FIGURA 21 - *LAYOUT* RIABLADES ATUAL 36
FIGURA 22 – VSM ESTADO ATUAL 42
FIGURA 23 – *LAYOUT* E FLUXO ATUAL DA PRODUÇÃO DE ROOT JOINTS 44
FIGURA 24 – *LAYOUT* E FLUXO PROPOSTO PARA A PRODUÇÃO DE ROOT JOINTS 45
FIGURA 25 – PLANO INICIAL DE PRODUÇÃO SEMANAL DE ROOT JOINTS DA PÁ RE45 45
FIGURA 26 – PLANO ATUAL DE PRODUÇÃO SEMANAL DE *ROOT JOINTS* DA PÁ RE45 46
FIGURA 27 – VEÍCULO PARA TRANSPORTE DE BALSA E ESPUMA 47
FIGURA 28 – FLUXO DE ABASTECIMENTO E APLICAÇÃO DE ESPUMA NOS MOLDES DE WEBS 47
FIGURA 29 – CONJUNTO DE CARROS DE TRANSPORTE DE WEBS 48
FIGURA 30 - CONJUNTO DE CARROS DE TRANSPORTE DE GIRDERS 49
FIGURA 31 – *STANDARD* FINAL DOS MOLDES DAS MAIN SHELLS DA PÁ RE45 50
FIGURA 32 – SUPORTE DE DOCUMENTAÇÃO 51
FIGURA 33 – CARRO DE *STOCK* E ABASTECIMENTO DE RCOS 52
FIGURA 34 – TEMPOS DE PRODUÇÃO 54
FIGURA 35 – VSM ESTADO FUTURO 56

Índice de Tabelas

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM MASSA E *LEAN* 4
TABELA 2 - TEMPOS DE CICLO E INTERVALO DE CEDÊNCIA DE CADA PROCESSO 40
TABELA 3 – VALORES DO *TAKT TIME* NO ESTADO FUTURO DO VSM 53
TABELA 4 - VALORES DO TEMPO DE CICLO NO ESTADO FUTURO DO VSM 55
TABELA 5 – *LEAD TIME* CENÁRIO ATUAL E CENÁRIO FUTURO 57

Listas de Siglas e Acrónimos

VSM	- Value Stream Map
TQM	- Total Quality Management
SMED	- Single Minute Exchange of Die
TPM	- Total Preventive Maintenance
JIT	- Just In Time
WIP	- Work In Progress
CT	- Cycle Time
TT	- Takt Time
COT	- Changeover Time
EPE	- Every Part Every
FIFO	- First In First Out
HAWT	- Horizontal Axis Wind Turbine
SAP	- Systems, Applications and Products
MRP	- Manufacturing Resource Planning
WS	- Work Shifts
NVA	- Non Value Added
NNVA	- Necessary Non Value Added
VA	- Value Adeed

I – Introdução

Nas últimas décadas os paradigmas do mercado sofreram profundas transformações com o surgimento do conceito de globalização. As empresas viram uma oportunidade de se expandirem para além das fronteiras do seu país e levarem os seus produtos a outros continentes. Com a abertura dos mercados a competição entre as empresas tornou-se global.

Estes fatores, aliados a uma crise de nível global sem fim anunciado e ao aumento das pressões do mercado, tornam essencial o aumento da competitividade por parte das empresas, obrigando a uma redefinição dos seus objetivos e processos produtivos, procurando reduzir custos e apostando na qualidade (Thomas, 2008).

A filosofia *Lean* fornece um conjunto de ferramentas e conceitos que visam a identificação e eliminação dos desperdícios nos processos produtivos, ao mesmo tempo que se focaliza nas necessidades dos clientes.

O *Value Stream Mapping* é um exemplo dessas ferramentas, permitindo representar o fluxo de materiais e informação, desde o pedido até à entrega ao consumidor.

O presente projeto pretende dar um contributo a uma indústria ainda recente e com uma grande margem de desenvolvimento e expansão como é a das energias renováveis, concretamente a energia eólica. O aumento da procura deste tipo de fonte de energia surge da necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, ao mesmo tempo que cria uma urgência em reduzir custos e criar formas de responder a essa procura.

O objetivo proposto é a criação de um mapa de fluxo de valor de uma fábrica de pás eólicas, identificando as fontes de desperdício e as oportunidades de melhoria, com vista a um aumento da produção.

Para fazer esse mapeamento será analisada a cadeia de valor e recolhida informação sobre o estado inicial do processo.

Serão depois utilizados conceitos *Lean* para encontrar formas de reduzir desperdícios e por fim, será feito um mapa de fluxo de valor futuro, onde estarão expostas as propostas de melhoria.

Assim, o presente trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos e os seus respetivos subcapítulos, de modo a uma fácil consulta através do índice.

No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento do trabalho e os objetivos propostos.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico, onde são expostos os principais conceitos da filosofia *Lean*, e feita uma introdução à ferramenta *Value Stream Mapping*.

No terceiro capítulo é feita a descrição do caso de estudo e elaborados os mapas de fluxo de valor respetivos ao estado inicial e futuro do sistema produtivo. Serão também expostas as medidas propostas para a melhoria, tendo em perspetiva o aumento de produção do número de pás e o consequente aumento da utilização do espaço e recursos.

Por fim, o quarto capítulo apresenta as conclusões dos resultados obtidos.

II – Sistema de Produção *Lean*

II.1 – *Toyota Production System*

O conceito *Lean* nasceu no Japão da década de 1940, na fábrica da Toyota. Saídos derrotados da Segunda Guerra Mundial, os japoneses enfrentavam uma grande escassez de recursos humanos, financeiros e de materiais. Da reunião destas condições nasceu a necessidade de uma nova filosofia que aproveitasse ao máximo os recursos existentes e que tornasse a produção mais eficiente (Womack et al., 1990). No ocidente, a filosofia de produção estava na linha do que tinha sido iniciado por Henry Ford, e que se baseava em grandes volumes de produção de um pequeno número de produtos estandardizados. Na América, os construtores de automóveis tinham uma produção dez vezes superior à dos Japoneses (Ridpath, 2012). Kiichiro Toyoda, presidente fundador em 1937 da empresa *Toyota Motor Company*, viajou pela Europa e América com o objetivo de conhecer os métodos de produção de automóveis aí utilizados. Mas os métodos de produção em massa praticados pela indústria automóvel nesses países, que se baseavam na produção de grandes lotes, não eram adequados à realidade do Japão, onde a procura era muito menor (Ridpath, 2012).

Como resposta a esta realidade, Kiichiro Toyoda, Shingeo Shingo e Taiichi Ohno pensaram e desenvolveram um sistema disciplinado e orientado para o processo, conhecido como "*Toyota Production System*" ou "*Lean Manufacturing*". Esta filosofia assentava na ideia que apenas uma pequena parte do tempo e recursos num processo produtivo adicionava valor ao produto final, sendo que o restante era desperdício e deverá ser eliminado.

Outra mudança foi a perceção que é o cliente quem determina o preço de venda, e não o produtor. Até então, o preço de venda era definido pela seguinte expressão:

$$Preço\ de\ Venda = Custos\ de\ Produção + Margem\ de\ Lucro$$

Com os novos princípios introduzidos, o objetivo focaliza-se agora na redução dos custos e a nova fórmula será:

$$Preço\ de\ Venda - Custos = Lucro$$

Uma forma de conseguir uma redução nos custos é reduzir a linha temporal entre o momento em que o cliente faz um novo pedido e o momento em que o pagamento é efetuado (Ohno, 1988).

Na Tabela 1 estão expostas as principais diferenças entre os dois sistemas de produção.

	Produção em massa	Produção *Lean*
Origem	• Henry Ford	• Toyota
Pessoas – projeto	• Profissionais pouco qualificados	• Equipas de profissionais multi-disciplinados em todos os níveis da organização
Pessoas – produção	• Operadores não qualificados ou semi-qualificados	• Equipas de operadores multi-disciplinados em todos os níveis da organização
Equipamentos	• Máquinas dispendiosas e adaptadas a uma única função	• Sistemas manuais e automatizados capazes de produzir grandes quantidades e variedades de produtos
Métodos de produção	• Produção de elevados volumes de produtos estandardizados	• Produção nivelada com o pedido do cliente
Estrutura da organização	• Estrutura hierárquica, onde é a gestão assume as responsabilidades	• As responsabilidades estão distribuídas pelos vários níveis da organização
Filosofia	• Qualidade possível	• Procura da perfeição

Tabela 1 - Comparação entre os sistemas de produção em massa e *Lean* (Womack et al., 1990)

II.2 – Princípios da filosofia *Lean*

A filosofia *Lean* tem como foco principal eliminar do processo produtivo o que é considerado desperdício, isto é, tudo o que não acrescenta valor ao cliente final. O objetivo final é produzir mais com menos recursos humanos, tempo, máquinas e espaço, levando ao cliente final exatamente o que ele quer, e no momento que ele precisa. Para isso, as empresas devem especificar e organizar o que é considerado valor, definir a melhor sequência de ações e executá-las no momento em que alguém as solicite, sem interrupções e de forma eficiente (Womack & Jones, 1996). Uma solução encontrada por Ohno na Toyota foi organização do *layout* não por processo, mas de acordo com o fluxo das operações. A filosofia *Lean* proporciona novas formas de trabalho, num ambiente onde os operadores não estão limitados a apenas uma função e podem trabalhar com várias máquinas, criando-se um sistema de "um operador, vários processos" (Ohno, 1988) que, ao contrário da reengenharia do processo que muitas vezes recorre a despedimentos na procura de um aumento de eficiência, permite um reajustamento e realocação dos trabalhadores. Segundo um estudo da *Lean Enterprise Research Center* (LERC, 2004), podemos fazer a divisão das operações de produção da seguinte forma: 60% são atividades que não adicionam qualquer valor, 35% não adicionam valor, mas são necessárias no processo, e apenas 5% das atividades acrescentam valor. Com estes resultados, facilmente se percebem as oportunidades de melhoria no processo produtivo e do aumento da eficiência do mesmo.

No entanto, segundo Ohno (1998), a melhoria é eterna e infinita. Numa sociedade em constante mudança, onde o conceito de valor é diferente para cada indivíduo, é necessária uma constante revisão e flexibilidade no processo para garantir um nível elevado do serviço, procurando sempre atingir a perfeição.

Existem então cinco princípios intrínsecos à filosofia Lean segundo Womack & Jones (1996): valor, cadeia de valor, fluxo de valor, pull e perfeição.

II.2.1 – Valor

O valor é a capacidade de fornecer ao consumidor um produto ou serviço na altura certa, a um preço adequado (Womack & Jones, 2003). Na perspetiva do consumidor existem cinco princípios dentro do conceito de valor:

- A quantidade de desperdício existente no processo produtivo ou a sua eficiência não tem peso no valor percecionado pelo cliente, nem este tem sequer conhecimento dessas variáveis. O cliente tem em consideração aspetos como a marca, preço, ou experiências anteriores com o produto;
- O valor é subjetivo. O preço que achamos justo pagar por um produto pode variar com o local ou o espaço temporal onde nos encontramos;
- Os clientes pagam mais do que dinheiro. Ao fazer uma compra, estão também a fornecer informação sobre preferências, ou até o contacto e outros dados pessoais. Um cliente é também um possível agente de marketing gratuito, que irá partilhar a sua experiência com outros possíveis compradores. Uma experiência positiva vai conduzir à lealdade e consequente preferência em relação à concorrência;
- O consumidor não olha para o valor individualmente, e cada compra que faz vai afetar a compra seguinte. Isto deve-se ao facto que o consumidor tem recursos limitados, e que terão que ser distribuídos por várias classes de produtos ou serviços. Esta característica vai condicionar aquilo que ele considera o valor ótimo. Por exemplo, se comprar um carro, fica com menos dinheiro para gastar para idas ao cinema ou outro tempo de atividades de lazer;

- O valor não é racional. A lealdade a uma determinada marca pode levar um cliente a optar por um produto que em circunstâncias normais não teria tanto valor para si. Nesta circunstância, é a emoção e não a razão que impulsiona a compra. Isto torna o comportamento dos consumidores difícil de prever.

O desafio de uma empresa *Lean* é o desenvolvimento de uma linha de produtos que tenham em conta estas características do valor. Também se evidencia a importância da diferenciação em relação à concorrência na escolha dos clientes no momento da compra (Morin, 2012).

II.2.2 – Cadeia de valor

A cadeia de valor (ou *Value Stream*) é uma fotografia da sucessão de eventos ou atividades de uma empresa, que vão desde o fornecedor até à entrega de valor ao consumidor. O objetivo desta análise não é olhar para cada processo individualmente mas sim para o seu conjunto, melhorando a eficiência de toda a cadeia de abastecimento, e não apenas de uma parte dela (Rother & Shook, 1999). A informação retirada desta análise é normalmente traduzida numa ferramenta visual: o *Value Stream Mapping*, que será abordado mais à frente.

II.2.3 – Fluxo de valor

A filosofia *Lean* considera uma organização como um sistema em que um conjunto de recursos é ligado através de processos de modo a obter um produto que possa ser vendido (Goldratt, 1993). O fluxo de valor representa as deslocações de materiais e informações ao longo dos seus processos de transformação. Este conceito implica o percurso inverso da cadeia de valor, que faz uma análise do desperdício a partir da perspetiva do cliente. O processo de produção ideal será aquele que consegue impor um fluxo contínuo, isto é, cada produto atravessa toda a linha de produção de forma independente, sem separação em lotes e sem zonas de espera, até ao momento em que está pronto para ser transportado ao cliente.

O mapeamento dos fluxos vai permitir a análise do estado atual, assim como o estudo de cenários futuros, evitando focar-se em ações que levam ao aumento de eficiência em áreas limitadas que trazem poucas vantagens a nível global.

II.2.4 – *Pull*

Nos sistemas de produção ditos tradicionais, ou *Push*, a produção depende de previsões de vendas ou da performance de mercado anteriores. Isto significa que estamos a "empurrar" os produtos para o mercado. No entanto, já verificámos que é o consumidor que define a procura, e não o fornecedor. Numa empresa *Lean*, a ordem de produção é dada apenas quando existe um pedido do cliente. Podemos imaginar o sistema *Pull* como um elevador, que funciona apenas quando é pressionado um botão, nem que nele esteja apenas uma pessoa. Isto vai permitir a poupança de recursos e uma drástica redução de *stocks* intermédios ou, idealmente, a sua total eliminação, já que a produção pára quando não há pedido do cliente. Já o sistema *Push* tem um comportamento semelhante a uma escada rolante, que está continuamente em movimento, independentemente de estar ou não a ser utilizada. Isto faz com que o sistema necessite de *stocks* intermédios ao longo de toda a cadeia de abastecimento (Imaoka, 2008).

II.2.5 – Perfeição

A aplicação de medidas de melhoria contínua, e a implementação dos quatro conceitos anteriores vão aproximar o produto ao que o cliente quer, quando quer e de forma económica, removendo desperdícios e melhorando o processo, aproximando-se do objetivo de zero defeitos.

II.3 – O conceito de desperdício

Os japoneses atribuem a designação de *muda* ao conjunto de materiais, processos ou ações que do ponto de vista do cliente não adicionam valor. Estes traduzem-se em custos para a empresa e podem corresponder a cerca de 95% do tempo despendido numa organização (LERC, 2004). As atividades podem então ser classificadas de acordo com a sua contribuição para o desperdício, conforme exposto na Figura 1.

Dentro das que não acrescentam valor existem dois tipos de atividade:

- Puro desperdício – São atividades totalmente dispensáveis e que as empresas devem procurar formas de eliminar este *muda*, que pode representar até 65% dos desperdícios dentro das organizações (LERC, 2004).
- Atividades necessárias – Apesar de não acrescentarem valor, estas atividades têm que ser realizadas. Incluem-se nesta categoria por exemplo os tempos de *setup*, inspeções a matéria-prima e transferência de ferramentas ou equipamentos para o posto de trabalho. Todas estas atividades devem ser minimizadas ou automatizadas.

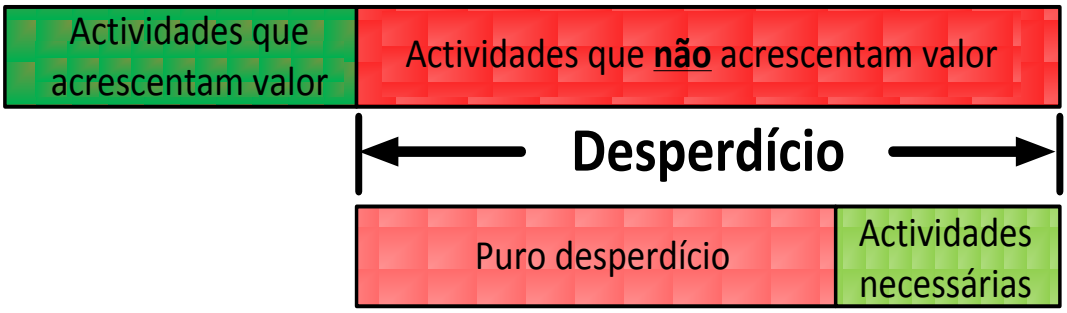

Figura 1 – Classificação das atividades pelo desperdício (Womack & Jones, 2003)

Para se poder atuar sobre os desperdícios é necessário primeiro conseguir identificá-los. Tipicamente, existem sete tipos de "muda" (Ohno, 1988), expostos na Figura 2.

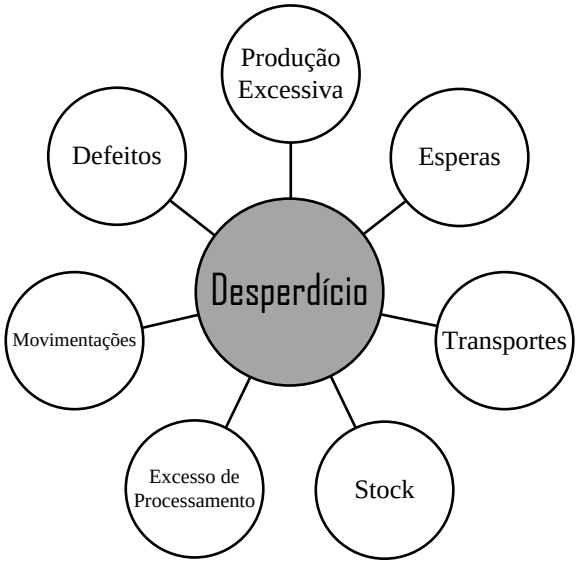

Figura 2 - Os sete desperdícios (Melton, 2005)

- Produção excessiva – A produção de uma quantidade maior do que é necessária vai levar ao consumo desnecessário de matéria-prima, criação de *stocks*, ocupação de mão-de-obra, meios de transporte e espaço de armazenamento;
- Esperas – O tempo em que pessoas ou equipamentos ficam parados enquanto esperam por algo. É comum este tipo de desperdícios ser provocado por deficiências no *layout*, interrupções na sequência das operações, lotes elevados de produção, avarias nos equipamentos ou oferta não sincronizada com a procura;
- Transportes e movimentações – Toda a deslocação de pessoas e materiais maior do que a necessária e não contribui para gerar valor. As principais causas destes desperdícios são a falta de organização do trabalho, áreas de trabalho e suporte distantes entre si e disposição incorreta dos equipamentos;
- Stocks – Produtos ou matéria-prima em quantidades superiores às necessárias para responder ao pedido do processo ou do cliente. Podem ser gerados por uma incorreta avaliação do mercado, falta de fluxo contínuo entre os diferentes processos, tempos elevados para a mudança de ferramentas ou uma má organização do *layout*;
- Defeitos – Geram custos elevados de reparações e provocam insatisfação nos clientes, para além de criação de *stocks* para compensação dos produtos defeituosos. Os defeitos podem ser resultado de falha humana ou da movimentação do produto, ou surgir quando não existe autocontrolo e inspeção ao longo do processo produtivo;
- Excesso de processamento – Todas as operações desnecessárias ou redundantes, e que não acrescentam qualquer valor. Surgem da falta de definição de requisitos dos clientes, especificações de qualidade excessivamente rigorosas, ou falta de clareza das instruções de trabalho.

Para além dos referidos, Taiichi Ohno (1988) considerou ainda um oitavo tipo de desperdício: a não utilização da criatividade dos recursos humanos. Uma gestão *Lean* deve envolver e incentivar a participação de todos os seus colaboradores na melhoria do

processo produtivo. Em última análise, são eles que lidam diretamente com o processo, e podem contribuir com ideias e sugestões para a sua melhoria. Deming (1986) demonstrou que 85% dos problemas operacionais e de negócio são da responsabilidade da gestão, e apenas 15% são atribuídos aos operadores.

II.4 – Ferramentas Lean

Das diversas ferramentas e filosofias *Lean*, Monden (1998), Feld (2000) e Nahmias (2001) fazem uma descrição das seguintes:

II.4.1 - 5S

5S's é um conjunto de cinco filosofias que pretende harmonizar o local de trabalho, envolvendo conceitos como a limpeza e a organização do espaço. Essas filosofias são: *seiton*, *seiri*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke*.

- *Seiton* é o primeiro passo na implementação do 5S. Consiste em verificar todas as ferramentas e materiais que se foram acumulando na área de trabalho ao longo do tempo, mantendo apenas aquilo que é essencial. Tudo o resto deverá ser eliminado do posto de trabalho. Ao eliminar tudo o que é desnecessário, reduzem-se constrangimentos no fluxo de trabalho. Numa primeira análise pode não ser fácil identificar o que é necessário e o que as pessoas pensam ser necessário.
  Hirano (1995) apresenta alguns exemplos desses defeitos:
  - Inventários extra geram custos de armazenamento e custos de gestão. A acumulação de *stocks* obsoletos devido a mudanças no desenho do produto ou prazo de validade limitado e componentes que não são necessários levam à ocupação de paletes e recursos logísticos;
  - Defeitos de qualidade devidos à entrada no processo de inventário desnecessário;
  - Equipamentos desnecessários ou danificados que criam obstáculos às atividades de produção. Dificuldades na definição de *layout*s dos equipamentos que são realmente necessários;
  - Defeitos de qualidade devidos a avarias ou mau funcionamento de equipamentos.
- *Seiri* consiste na organização do espaço de trabalho. Depois de removidos os equipamentos, ferramentas e materiais desnecessários, todos os restantes deverão ser dispostos e etiquetados consoante o seu nível de utilização. Os utilizados regularmente deverão ficar mais próximos e acessíveis, ficando aqueles com utilização menos regular, mais afastados. Depois de definido o lugar de cada item, ficará claro onde encontrá-lo quando necessário, e onde coloca-lo no final da sua utilização;
- *Seiso* significa manter o espaço de trabalho limpo e arrumado. Cada um deverá ser responsável pela sua área de trabalho e no final de cada turno tudo deve estar no sítio definido. Os operadores estão também a fazer manutenção preventiva.

Durante a limpeza de um equipamento podem ser detetados problemas que irão refletir-se em avarias futuras. Um objeto fora do sítio ou um líquido derramado no chão são potenciais causadores de acidentes;

- *Seiketsu* está ligado ao controlo e estandardização, e é o método que vai permitir manter os três conceitos anteriores. Ao criar *standards* de trabalho e ações, as tarefas serão executadas segundo regras definidas, e todos ficarão com conhecimento das suas responsabilidades;
- *Shitsuke* é o processo de manter a disciplina todos os dias, tornando os 5S's num modo de vida (ReVelle, 2004). Devem também ser dados a conhecer os benefícios dos 5S's a toda a empresa, de modo a que todos tomem conhecimento das vantagens da sua aplicação e possam participar na sua divulgação.

II.4.2 – *Total Quality Management* (TQM)

É um sistema que procura a melhoria contínua e gradual dos processos com o objetivo de aumentar a qualidade, procurando satisfazer as necessidades dos clientes. Implica ainda o envolvimento de todos os membros da organização e a criação de equipas capazes de resolver problemas que afetem a qualidade e a boa performance dos processo produtivos.

Durante grande parte do século XX, a qualidade esteve ligada ao conceito de inspeção após a produção. Segundo Shewhart (1931), devem ser criados critérios para determinar quando causas assinaláveis de variação forem eliminadas para que o produto possa ser considerado controlado dentro dos limites especificados. Shewhart (1931) desenvolveu cartas de controlo de qualidade que analisam os processos produtivos, verificando se a variabilidade destes era aleatória ou se, por outro lado, estão ligados a outros fatores controláveis, como o erro dos operadores ou máquinas mal calibradas.

Deming (1994) demonstrou que apenas 4% dos problemas e possibilidades de melhoria estão ligados a causas especiais. Tudo o resto é responsabilidade da gestão que regula o sistema.

Segundo Juran (1951) a qualidade é planeada e não acontece por acidente. Para explicar este fenómeno, Juran criou a trilogia da qualidade, que envolve três conceitos chave, demonstrados na Figura 3.

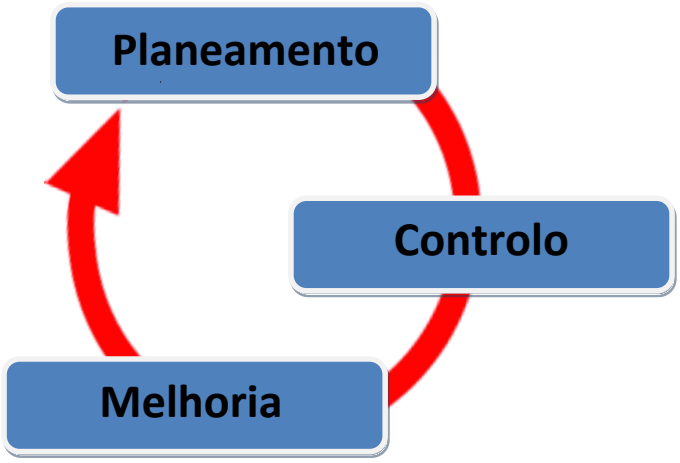

Figura 3 - Triologia da Qualidade (Juran, 1986)

- Planeamento – O planeamento da qualidade consiste em perceber as necessidades do cliente, e desenhar um sistema que consiga dar resposta a essas necessidades;
- Controlo – No controlo de qualidade é feita uma constante monitorização do processo, comparando a sua performance atual com o que foi inicialmente planeado, e tomar as ações necessárias caso se encontrem desvios;
- Melhoria – A melhoria da qualidade vai permitir aumentar os níveis de performance através da eliminação de desperdícios e defeitos, reduzindo assim os custos de má qualidade e gerando um processo de TQM que leva à melhoria contínua ou *kaizen*.

Juran (1951) introduziu também o conceito de custos de qualidade, que são aqueles em que se incorre quando o produto não sai bem à primeira. Feigenbaum (1956) agrupou-os da seguinte forma:

- Custos de prevenção – São todos os custos gerados com o objetivo de evitar falhas de qualidade nos produtos;
- Custos de avaliação – Estão incluídos nesta categoria todos custos da avaliação do produto antes deste chegar ao mercado;
- Custos de falhas internas – São custos gerados para corrigir erros devido a falhas durante o processo produtivo;
- Custos de falhas externas – São custos que incidem no produto após este ter sido colocado no mercado ou quando este já foi comprado pelo cliente.

Sakurai (1997), por sua vez, reuniu estas categorias de custos da forma que é explicada na Figura 4.

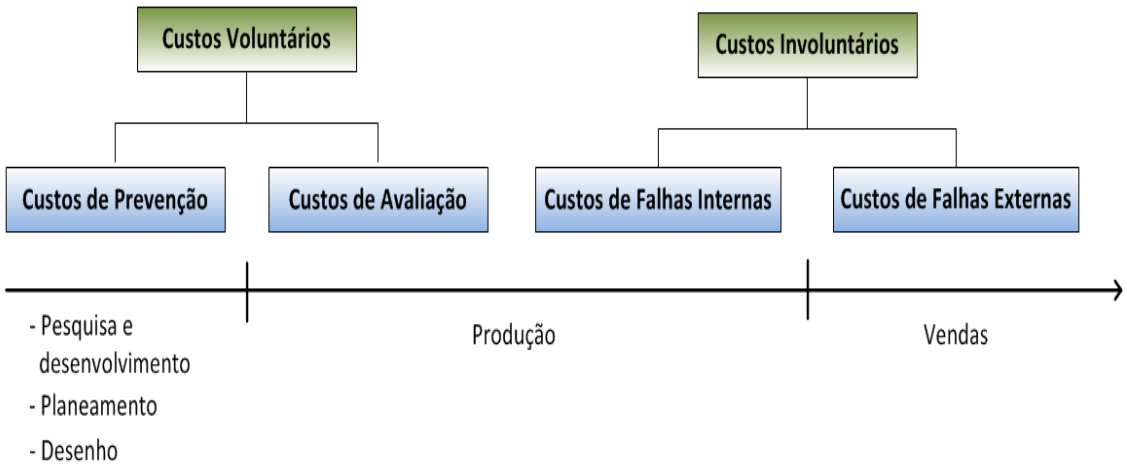

Figura 4 - Custos voluntários e involuntários (Sakurai, 1997)

Os custos voluntários serão então aqueles que são incorridos de forma consciente pela gestão nas fases de pesquisa, desenvolvimento, planeamento, *design* e início da produção. Já os custos involuntários são resultantes de erros durante a produção e após venda do produto. Mas para Crosby (1979), nenhuma quantidade de defeitos é aceitável e o objetivo deve ser alcançar os zero defeitos.

Taguchi (1993) observou que aproximadamente 80% dos defeitos têm origem na fase de *design*, e que por esse motivo as empresas devem concentrar os seus esforços nessa fase. Durante o processo, quanto mais cedo forem identificados defeitos, mais fácil e barato será corrigi-los. Um dos seus maiores contributos na área da qualidade foi o desenho de experiências, uma técnica que permite criar um produto ou serviço robusto. Seguindo a filosofia criada por Taguchi, é mais fácil desenhar um produto capaz de se adaptar a várias condições do que controlar essas mesmas condições.

II.4.3 – *Single Minute Exchange of Die* (SMED)

Shingo (1985) percebeu que as atividades da mudança de ferramentas e preparação de máquinas geravam elevados tempos não produtivos.

Podemos considerar que existe uma sequência de quatro passos no procedimento de mudança de ferramentas:

1. Preparação – Neste passo deve ser garantido que todas as ferramentas estão no devido lugar e a funcionar corretamente. Estão também incluídas a remoção dos produtos que foram processados pela máquina e a limpeza desta. O conjunto destas atividades representa cerca de 30% do tempo de mudança de ferramentas;

2. Montagem e desmontagem – Remover da máquina ferramentas e materiais já processados e colocação de novas ferramentas e materiais. Representa aproximadamente 5% do tempo de *Setup*;
3. Dimensionamento, calibrações e ajustamentos – Ajustamento dos parâmetros e preparação da máquina para produzir a peça seguinte. Representa cerca de 15% do tempo de *Setup*;
4. Testes e reajustamentos – Produção de peças teste de modo a verificar conformidade com as especificações e, caso se verifique necessário, efetuar novos ajustamentos. Estas atividades correspondem a 50% do tempo de *setup*.

Da sua análise à forma como os operadores executavam estas tarefas, surgiram duas categorias distintas:

- Operações internas – Só podem ser executadas quando a máquina se encontra parada, como a desmontagem das ferramentas;
- Operações externas – São aquelas que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento, como por exemplo o transporte de uma ferramenta para um local próximo da máquina.

Shingo (1985) desenvolveu a metodologia *Single Minute Exchange of Die*, ou SMED, que permite reduzir os tempos de *setup*, podendo ser aplicada a qualquer máquina e indústria. Segundo ele, existem quatro fases para a aplicação do SMED:

- Fase 0: Numa situação inicial não existe planeamento prévio das operações a executar, nem uma distinção entre elas;
- Fase 1: Deve proceder-se à identificação e separação das operações em internas e externa. Ao executar tarefas como transporte ou preparação de ferramentas enquanto a máquina está em funcionamento, podem atingir se reduções até 50% nos tempos das operações internas;
- Fase 2: O passo seguinte será efetuar uma análise para verificar se existem operações que estejam a ser assumidas como internas e que possam ser convertidas em externas;
- Fase 3: Por último, todas as operações de *setup* devem ser otimizadas, através de métodos que as tornem mais rápidas, fáceis e seguras.

A aplicação da metodologia SMED pode levar a uma redução de 90% no tempo de *setup* de uma máquina e melhorias no processo, como a redução do tamanho dos *stocks* e custos associados, melhoria no desenho de ferramentas e produtos, ou aumento da produtividade.

II.4.4 – *Total Preventive Maintenance* (TPM)

A *Total Preventive Maintenance* consiste na manutenção regular dos equipamentos para detetar as causas de possíveis avarias antes que estas ocorram, evitando assim paragens imprevistas na produção. Os operadores deverão também estar atentos a qualquer anomalia nas máquinas do seu posto de trabalho.

II.4.5 – Células de Produção

Numa célula de produção, as unidades de trabalho estão organizadas de forma a reduzir os transportes e tempos de espera durante fluxo de materiais e componentes ao longo do processo produtivo. No método de produção por lotes ou filas, o produto é processado por fases, sendo que uma delas ficará numa fila à espera de entrar no posto de trabalho seguinte. Para além dos *stocks* intermédios gerados entre processos, que terão de ser transportados até ao processo seguinte, este método de produção requer *stocks* iniciais elevados. A lógica está na produção de grandes quantidades de produtos com poucas alterações de ferramentas. Neste sistema, a produção é feita com base em previsões de procura, e não na procura real (EPA, 2011).

Numa célula de produção, apenas um produto é processado de cada vez e ao ritmo determinado pela necessidade do cliente, interno ou externo. Com este método de produção, todos os recursos estão dispostos de forma a facilitar as operações, garantindo a disponibilidade e facilidade de acesso às máquinas e ferramentas quando e onde são necessárias. Existe também uma componente de motivação e satisfação no trabalho, já que os operadores são responsáveis por várias máquinas dentro da célula de produção, dando-lhes mais controlo sobre o processo (Herzberg, 1968).

II.4.6 – *Just in Time*

JIT (*Just in Time*) é um sistema de produção do tipo *Pull*, em que a ordem de produção é dada apenas quando existe um pedido do cliente. Isto significa que os níveis de *stocks*, produção em curso e produtos acabados são reduzidos ao mínimo essencial apenas para responder aos pedidos existentes. A implementação do sistema JIT permite otimizar as operações logísticas, proporcionando às empresas reduções superiores a 50% nos níveis de *stocks* e 80% nos tempos de espera (Droge, 1998). A redefinição do *layout* pode contribuir para aumentar os níveis de eficiência da produção, criando um fluxo mais estável e reduzindo distâncias entre o trabalho em curso (WIP) e o posto seguinte. A comunicação e a tecnologia são elementos chave para o bom funcionamento de uma rede onde fornecedores, produção e clientes estão dependentes uns dos outros (Greenberg, 2002). Por isso, e de modo a atingir uma produção JIT, é necessário assegurar o fornecimento de materiais quando a produção deles necessita. O controlo da produção

vai ser assegurado pelo método *Kanban*, um sistema de controlo de produção que utiliza cartões com a informação visual sobre os níveis de materiais necessários, controlando o seu movimento dentro do processo. Com a utilização deste método sabemos quando produzir, o que produzir e quanto produzir (Tutor2u, 2012).

II.4.7 – *Kanban*

Kanban é um sistema manual de informação e calendarização que permite o controlo visual dos níveis de *stock* e da necessidade de reabastecimento. Através de um código de cores é possível saber se é necessário dar ordem de compra, minimizando deste modo as variações de *stock* e reduzindo os custos associados. A utilização do sistema *kanban* permite também saber em cada processo ou área a quantidade e o momento em que é necessário produzir, delegando a gestão de produção e *stocks* nas chefias diretas (EPA, 2011).

II.4.8 – *Value Stream Mapping* (VSM)

No livro *Learning to See*, Rother e Shook (1999) mencionam que "onde quer que exista um produto para um cliente, existe uma cadeia de valor" (Figura 5). Foi esta premissa que os levou ao desenvolvimento do *Value Stream Mapping*, uma ferramenta *Lean* que permite a análise e compreensão da sequência de atividades durante a produção de um determinado produto. Os japoneses da Toyota utilizavam já uma ferramenta semelhante – o mapeamento de fluxo de materiais e informação – com o objetivo de determinar fluxos, eliminar desperdícios e acrescentar valor. O VSM representa uma fotografia do processo produtivo através de símbolos e valores que, após análise e identificação de oportunidades de melhoria, irá facultar as bases para desenvolver um mapa futuro que garanta a melhoria do fluxo do processo.

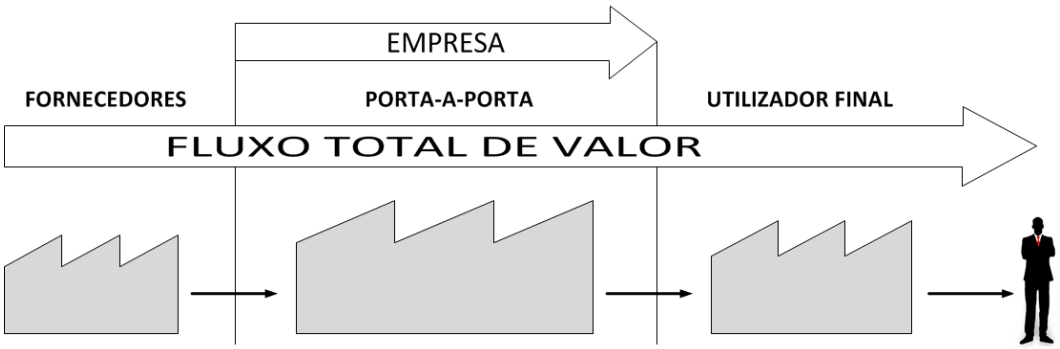

Figura 5 - Representação do fluxo de valor (Rother & Shook, 1999)

Seguindo as afirmações de Rother e Shook (1999), podemos identificar as principais características do VSM:

- Apresenta todos os processos e as suas interligações, dando a imagem do fluxo como um todo;
- Possibilita a identificação de desperdícios e as suas fontes no fluxo de valor;
- Utiliza uma linguagem simples e intuitiva na análise e tratamento dos processos produtivos;
- Permite a integração de práticas e outras ferramentas *Lean*;
- Torna visíveis os fluxos de materiais e informação;
- Permite a visualização do fluxo de porta-a-porta;
- Apoia a tomada de decisão para a criação de um plano futuro.

A implementação do VSM deve seguir uma sequência de quatro etapas, representadas na figura 6:

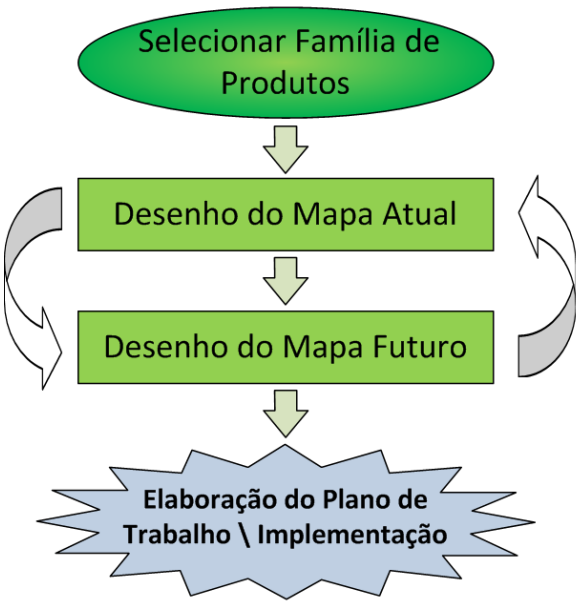

Figura 6 - Quatro etapas da construção do VSM (Rother & Shook, 1999)

II.4.8.1 – VSM: 1º Passo - Definir o produto ou família de produtos a analisar

No caso da escolha de uma família de produtos, deve-se escolher um grupo de produtos que passe por etapas idênticas durante o processo produtivo, como tempos de ciclo semelhantes, utilização das mesmas máquinas ou procuras idênticas. Depois de definido o produto ou família de produtos a seguir, deve ser selecionado alguém que lidere o processo de mapeamento. Este deverá ter um conhecimento geral do fluxo de informação e materiais de um produto e ter o poder de tomar decisões e implementar as alterações necessárias.

II.4.8.2 – VSM: 2º Passo – Mapear o estado atual do processo

Depois de selecionado o produto ou família de produtos é necessário fazer um desenho representativo do processo atual. A recolha de informação necessária para criar um mapa do processo deve ser feita no local, percorrendo toda a cadeia de valor de porta-a-porta. À medida que se percorre a cadeia de valor, desenha-se um primeiro rascunho a papel e caneta do fluxo que liga os vários processos, representando-os através de símbolos e ícones. No entanto devemos ter presente que o VSM é uma ferramenta estática que nos dá apenas informação relativa a um determinado momento. É necessário portanto um conhecimento do processo e a capacidade de escolher a informação que represente a realidade do dia-a-dia da forma mais aproximada possível. Essa representação deverá ser feita em sentido inverso ao fluxo de produção, isto é, deve começar-se a mapear o processo mais próximo do cliente e recuar até aos fornecedores, processo a processo.

Os dados a recolher serão diferentes para cada organização, dependendo estes do tipo de produto ou do objetivo da análise. Cada processo identificado terá um conjunto de dados associados. Dos apresentados por Rother e Shook (1999), os apresentados a seguir serão os mais comuns:

- *Cycle Time* (CT) – Tempo de produção de uma peça;
- *Takt Time* (TT) – Ritmo de produção necessário para responder à procura;
- *Change Over Time* (COT) – Tempo que demora a preparar uma máquina para o processo seguinte;
- *Uptime* – Percentagem de utilização de uma máquina em relação ao tempo total disponível;
- *Every Part Every* (EPE) – Frequência com que uma peça pode ser produzida sem exceder a capacidade disponível, e com a menor dimensão de lote possível;
- *Work Time* – Tempo de trabalho disponível num determinado período de tempo;
- *Work in Progress* – Trabalho em curso;
- *Lead Time* – Período de tempo entre o momento em que o cliente efetua o pedido e o momento em que este recebe produto.
- *Stock* – Inventário de produto ou matéria-prima acumulada entre e ao longo dos processos.

Na criação do VSM utilizam-se ícones que representam fluxo de materiais e de informação, entre outros ícones que possibilitem a visualização e compreensão do fluxo de valor. Quando terminado, essa representação do mapa do estado atual terá uma configuração semelhante à apresentada na Figura 7.

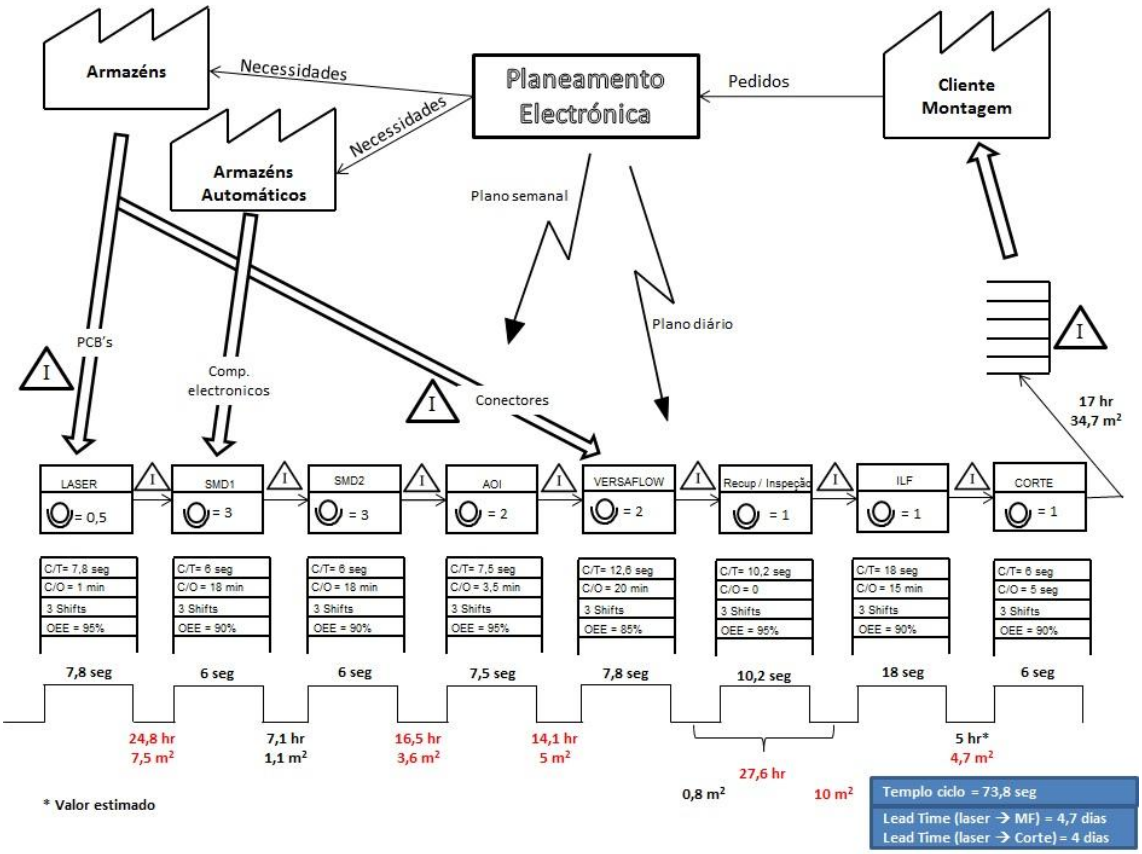

Figura 7 - Exemplo do mapa de fluxo de valor atual (Rodrigues, 2012)

II.4.8.3 – VSM: 3º Passo – Criação do mapa futuro

Depois de concluído o mapeamento do estado atual, é agora possível identificar as oportunidades de melhoria que originam um fluxo mais próximo do ideal. Baseados nos ensinamentos de gestão *Lean* da Toyota, Rother e Shook (1999) definiram um conjunto de diretrizes a seguir para obter um mapa futuro e garantir um lead time mais reduzido, menores custos e elevada qualidade. Essas diretrizes são a seguir descritas:

- Produzir para *Takt Time* – O valor do *Takt Time* representa o ritmo a que uma peça ou produto devem ser produzidos de modo a satisfazer a procura do cliente, e é calculado da seguinte forma:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ Disponível}{Procura}$$

Este valor dá-nos informação sobre o desempenho de cada processo e como melhorá-lo, produzindo apenas o que é necessário e ao ritmo ideal;

- Usar fluxo contínuo sempre que possível – O fluxo contínuo representa a produção de um componente de cada vez, atravessando várias fases de um processo sem interrupções ou desperdícios como esperas ou deslocações de um posto para o seguinte. Ao tornar um fluxo que antes não o era em contínuo, estamos a fundir processos para o mapa futuro. Não esquecer no entanto que deste modo estamos também a somar os seus tempos de espera e de paragem. Por esse motivo será mais vantajoso começar com uma situação que combine fluxo contínuo com sistema *Pull*, para mais tarde, depois de reduções nos tempos de espera e paragem, criar um fluxo contínuo estável;
- Utilizar "supermercados" quando necessário – Existem situações em que um fluxo contínuo não é possível, sendo preferível criar lotes ou *stocks* intermédios. Esta situação pode ocorrer quando, por exemplo, o processo tem tempos de ciclo muito diferentes dos restantes, ou os seus tempos de espera ou de entrega são demasiado elevados para que seja viável transportar ou produzir apenas uma peça de cada vez. Nestes casos, o processo trabalha num sistema *Pull* para reabastecer o "supermercado" que fornece o processo seguinte;
- Planear a produção num único processo – A produção deverá ser definida pelo *pacemaker*, que é o processo que irá ditar o ritmo de todos os outros ao longo do fluxo de produção e alterações nos volumes de produção neste processo que vão afetar a capacidade a jusante;
- Nivelar o *mix* de produção – A distribuição da produção de diferentes produtos deve ser nivelada de modo intercalar. Ao invés de produzir um lote grande do produto "A" e só depois produzir outro lote do produto "B", devem ser produzidos lotes mais pequenos e intercalados dos dois produtos. Deste modo, consegue-se uma maior capacidade de resposta aos pedidos dos clientes, mantendo níveis de *stocks* reduzidos. No entanto devemos ter presente que com este tipo de nivelamento a soma dos tempos de *changeover* ou mudança de ferramentas irá aumentar;
- Nivelar os volumes de produção – Deve ser estabelecido um fluxo de produção que permita igualar a procura de uma forma estável e previsível. Assim torna-se mais fácil a monitorização do desempenho da produção e a adaptação a novos requisitos do cliente, mantendo *stocks* reduzidos ou, preferencialmente, nulos;
- Garantir a capacidade de produzir todas as partes, todos os dias (EPE). A produção de lotes mais pequenos e a redução dos tempos de *changeover* levam a uma maior capacidade de resposta a alterações na produção e nos processos, reduzindo a necessidade de inventário nos "supermercados", aumentando o

número de pequenos lotes que se podem produzir durante o tempo disponível de trabalho.

O resultado da aplicação destas diretrizes conduz ao mapa do estado futuro, conforme é apresentado na Figura 8.

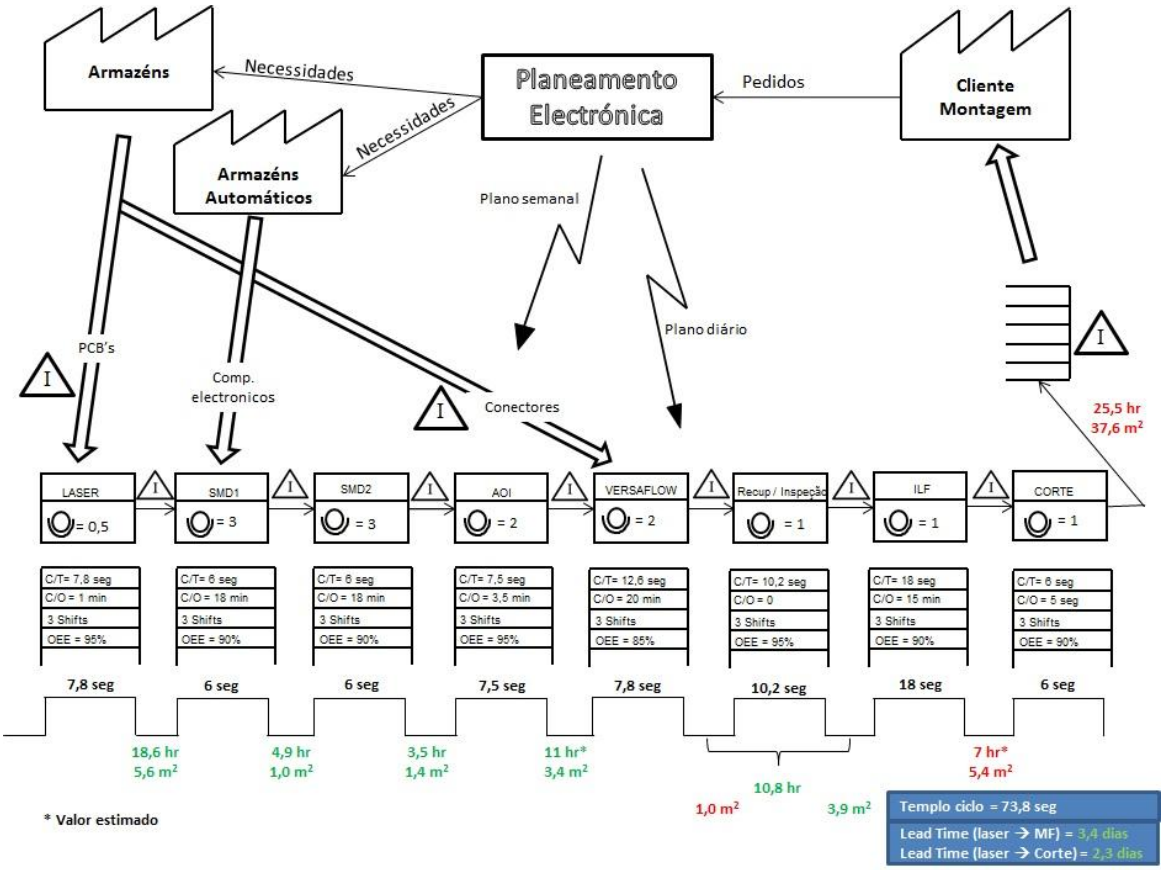

Figura 8 - Exemplo do Mapa de Fluxo de Valor futuro (Rodrigues, 2012)

II.4.9 – VSM: 4º Passo – Implementação

Depois de completo o mapa do estado futuro é necessário implementar as medidas por ele propostas. Nomeados os responsáveis por cada área ou atividade, estes devem seguir um plano de atividades que garanta o cumprimento dos objetivos definidos.

II.4.10 – Desvantagens do VSM

Existem no entanto algumas limitações atribuídas ao VSM e que devem ser consideradas quando se pretende utilizar esta ferramenta de visualização. Algumas dessas limitações são identificadas por Khaswala e Irani (2001):

- Não permite a análise de produtos que não tenham mapas semelhantes;

- Não relaciona atrasos de transporte e filas de espera, alterações na dimensão dos lotes intermédios e manipulação inadequada dos materiais ou parâmetros operacionais, como o tempo de ciclo das máquinas e as medidas de performance do sistema produtivo;
- Não apresenta uma métrica económica para "valor", como por exemplo o lucro, custos operacionais, despesas de inventário e outros;
- Não apresenta uma imagem do *layout* e o impacto que este tem nas movimentações de materiais entre operações, nem a sequência na qual as filas de espera formam o lote à entrada de cada processo ou número de deslocações entre operações;
- É direcionado a *layout*s de linha de montagem, fluxos contínuos, sistemas *Pull* baseados em *Kanban*, e outros sistemas baseados em elevados volumes de produção e baixa variedade de produtos.
- Não considera a utilização do espaço de fábrica necessário para armazenamento de WIP, áreas de apoio à produção ou corredores para deslocação e manuseamento de materiais;
- Não demonstra o impacto no WIP e custos resultantes de fluxos de materiais ineficientes, como deslocações dentro da operação, fluxos não sequenciais ou cruzados, entre outros;
- Com o aumento da complexidade da lista de materiais, diagramas de fluxo e mapas de processos, aumenta também a complexidade do VSM, dificultando a sua construção e análise;
- Não permite a identificação das causas do aparecimento de uma fila de espera, sequenciamento de múltiplas ordens de trabalho ou limitações de capacidade;
- Devido ao processo de mapeamento ser manual, o desenvolvimento e análise de múltiplos cenários pode ficar restringido por questões de tempo ou orçamento.

II.4.11 – Exemplo da aplicação do VSM: Indústria

A aplicação do VSM está historicamente ligado à indústria, já que foi aí que esta ferramenta emergiu, e existem vários casos de sucesso na sua aplicação.

Motivados pela falta de estudos realizados na área do processamento de óleo vegetal na Índia e na sua cadeia de abastecimento, Deepak, Nitin e Dinesh (2008) elaboraram um projeto com o objetivo de analisar o estado da produção de óleo de sementes de algodão. O caso de estudo apresentado foi elaborado com base em observações feitas em três estados deste país: Maharashtra, Andhra Pradesh e Karnataka.

Depois de identificados os tipos de desperdício associados ao processo foram identificadas e classificadas todas as actividades em VA (*Value Adeed*), NVA (*Non Value Added*) e NNVA (*Necessary Non Value Added*)

Após esta análise verificou-se que o tempo total de trabalho são 124 dias e os stocks de matéria prima ao longo da cadeia para 120 dias de trabalho, totalizando 244 dias de material. Os valores incluíam ainda *stocks* de segurança equivalentes a 90 dias de trabalho.

Verificou-se também que a indústria de transformação opera a uma média de 35% da capacidade, utilizando tecnologia desatualizada e com baixos níveis de eficiência. Também a utilização do processo mecânico usado para a extração do óleo revela-se menos eficiente que o processo envolvendo um solvente.

O mapa resultante da primeira análise da cadeia de valor está representado na Figura 9.

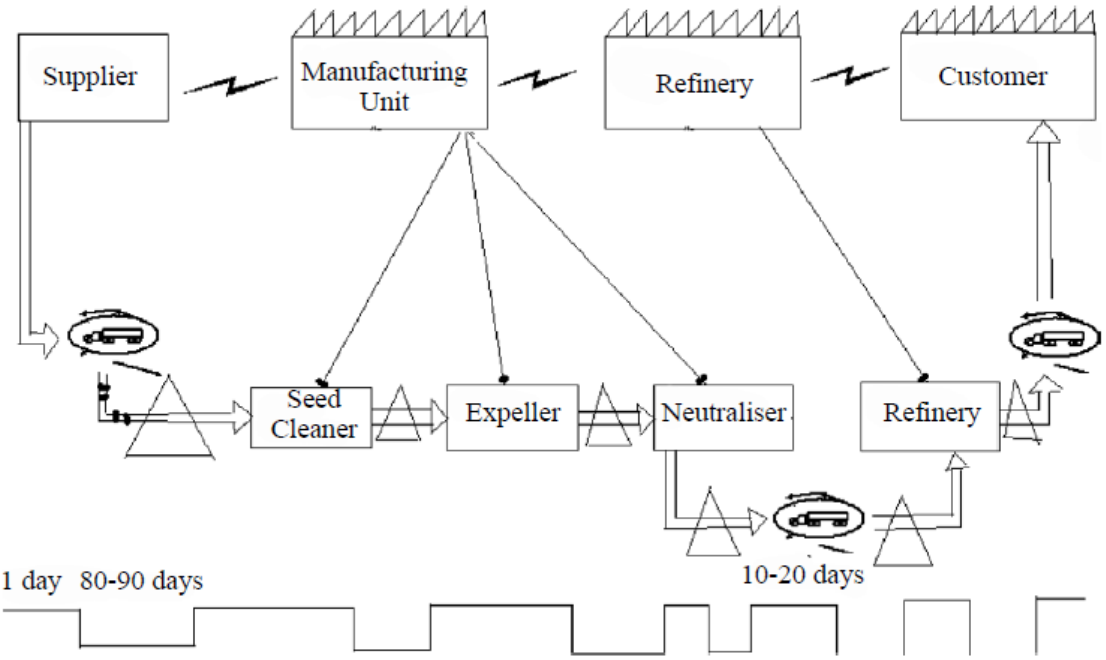

Figura 9 – Mapa do estado atual da produção de óleo de sementes de algodão (Dinesh, 2007)

Da análise realizada surgiram várias recomendações com o objetivo de desenvolver a indústria:

- Consolidação da indústria, permitindo o surgimento de produtores com capacidade de exploração numa economia de escala;
- Uma maior integração dos agricultores de modo a garantir o fornecimento contínuo de matéria-prima e a aproximação das infraestruturas de extração e refinamento do óleo de sementes de algodão;
- Utilização do método de extração por solvente de modo a obter o máximo de extração de óleo.

O resultado da aplicação destas medidas está refletido na Figura 10.

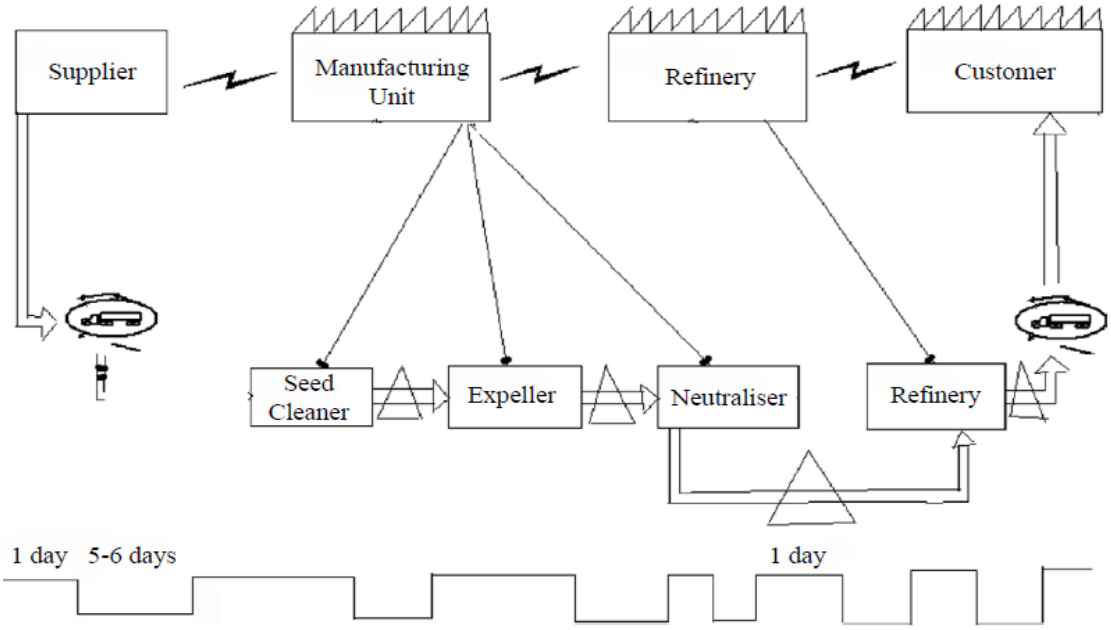

Figura 10 – Mapa do estado futuro da produção de óleo de sementes de algodão (Dinesh, 2007)

II.4.12 – Exemplo da aplicação do VSM: Medicina

Existem vários estudos que demonstram a aplicabilidade de ferramentas Lean como o VSM em outros setores fora da indústria, como meio para reduzir custos e aumentar a eficiência.

A saúde é uma das áreas que tem vindo a utilizar estas ferramentas para melhorar a prestação de serviços médicos, reduzindo o tempo de espera dos pacientes e aumentando a capacidade de resposta, sem a necessidade de grandes investimentos em recursos humanos ou equipamentos. Wysocki (2004) descreve a relação entre os princípios do método de produção desenvolvido na Toyota e o serviço hospitalar:

- Fluxo – Na indústria o foco está na melhoria do fluxo de equipamentos, operadores e materiais. Em ambiente hospitalar o objetivo é aumentar o fluxo do *staff* médico e de atendimento dos pacientes;
- Análise das causas raiz – Tanto numa empresa como num hospital, os erros devem ser examinados de imediato e tomadas medidas para evitar que estes voltem a ocorrer no futuro;
- *Value Stream Mapping* – A elaboração de um diagrama que represente os processos de trabalho permite a identificação e eliminação de passos que não acrescentam valor ao cliente ou paciente;

- *Kaizen* – Deve apostar-se na melhoria contínua no sentido de melhorar a eficiência dos serviços.

Um estudo realizado a uma clínica médica numa região no oeste dos Estados Unidos (Vokurka et al, 2006) pretendia encontrar uma solução que permitisse um atendimento de qualidade aos pacientes num cenário de dificuldades de recrutamento de pessoal médico, redução de orçamento e de serviços disponíveis, sem deixar de prestar atendimento a pacientes em situações de saúde críticas. Para isso foi analisado o que adiciona valor do ponto de vista do cliente, como é possível observar na Figura 9.

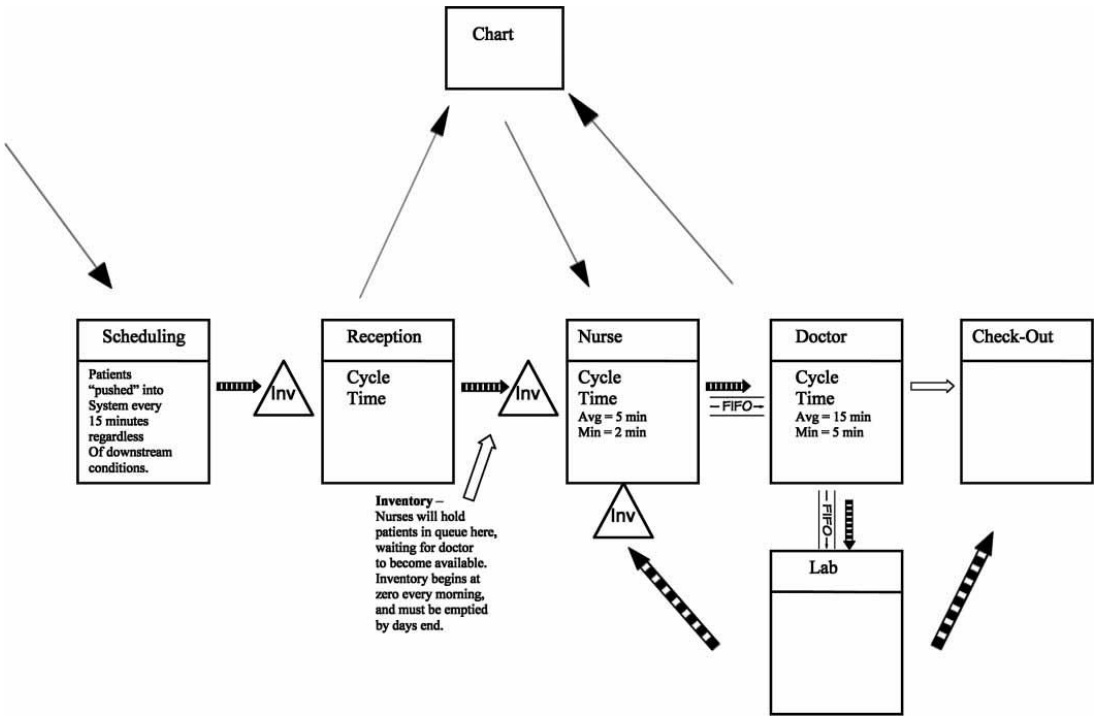

Figura 11 - Mapa do estado inicial do serviço de atendimento médico (Vokurka et al, 2006)

Na situação inicial, os pacientes eram " empurrados" para o sistema, a um ritmo ditado por um calendário de atendimentos definido com vários dias de antecedência e sem recolher feedback da capacidade de resposta dos serviços. A grande variação de tempo que um médico despendia com cada paciente resultava em desperdícios no sistema e dificultava a resposta a picos de afluência aos serviços.

Depois de elaborado o mapa do estado atual foi possível analisar os problemas e propor medidas que oferecessem soluções, como é apresentado no mapa do estado futuro na Figura 12.

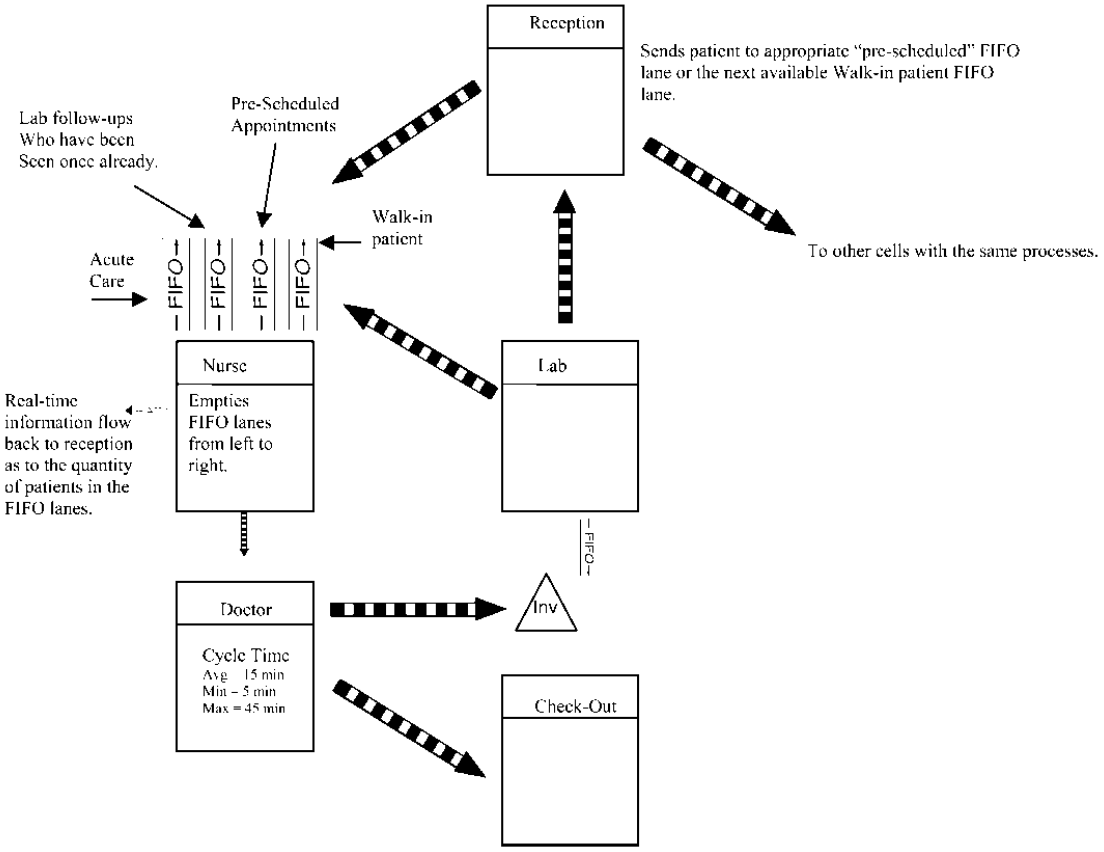

Figura 12 – Mapa do estado futuro do serviço de atendimento médico (Vokurka et al., 2006)

As mudanças efetuadas, como a implantação de um sistema *Pull*, criação de filas de espera baseadas num sistema FIFO (*First In, First Out*), e um melhor planeamento dos horários de atendimento, traduziu-se num fluxo de pacientes mais controlado e fluido, permitindo ao mesmo tempo um aumento da capacidade de atendimento sem necessidade de mais equipamentos ou recursos humanos.

II.4.13 – Relevância do VSM no caso de estudo

No contexto de produção de um único produto ou uma pequena variedade de produtos e em quantidades reduzidas como é a produção de pás eólicas, o VSM revela-se uma ferramenta adequada devido à sua capacidade de fornecer um método de análise de todo o processo produtivo.

Trata-se de uma área da indústria recente e com uma grande margem de evolução, com um produto que atravessa uma longa cadeia de valor e um ciclo de produção elevado.

Estes fatores propiciam a existência de fontes de desperdício que passam muitas vezes despercebidas durante longos períodos de produção.

O mapeamento do fluxo de valor através do VSM aliado à implementação de conceitos *Lean* vai permitir a identificação e posterior eliminação de desperdícios associados aos processos.

III – Caso de Estudo

III.1 – Apresentação da empresa

III.1.1 – Suzlon

A *Suzlon Energy Limited* é a primeira empresa Indiana de tecnologia de energia eólica, e foi criada em 1995. Com um total de 20 mil Megawatts de potência instalada, ocupa atualmente a quinta posição na produção de turbinas eólicas (BTM Consult, 2011), com um share de mercado de 7,6%. As instalações de produção estão sediadas na Índia, Estados Unidos, Alemanha e Portugal.

Em finais de 2011, a Suzlon adquiriu a totalidade da REpower, somando 1,7 mil Megawatts de capacidade de produção anual aos 4,2 mil Megawatts que apresentava até então.

III.1.2 – REpower

A REpower é uma empresa produtora de turbinas eólicas fundada na Alemanha em 2001. Emprega cerca de 2,900 trabalhadores em todo o mundo, e a gama de produtos compreende turbinas eólicas terrestres de 1,5 Megawatts, até à maior turbina comercial de mar alto, capaz de produzir 6,15 Megawatts, e pretende até 2015 atingir uma cota de mercado mundial de 10%. A evolução de encomendas é apresentada na Figura 13.

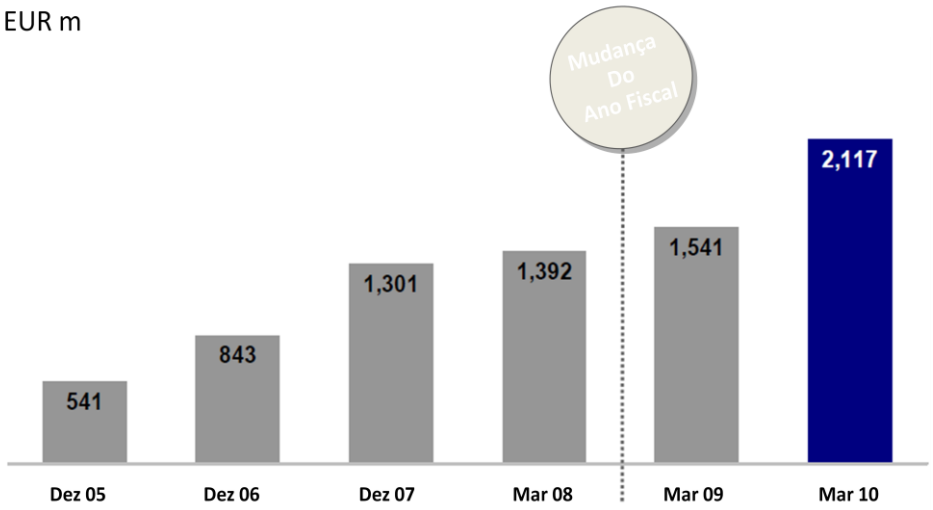

Figura 13 - Evolução de encomendas acumuladas por registo de datas

A produção de pás eólicas está distribuída pela PowerBlades em Bremerhaven, na Alemanha, e pela Riablades em Vagos, em Portugal.

III.1.3 – Riablades

A Riablades, SA nasceu na sequência da concessão à Ventinveste do concurso público internacional denominado "*Atribuição de capacidade de injeção de potência na rede elétrica de serviço público - para a energia elétrica produzida em parques eólicos*", lançado pelo governo português em 2007. A Riablades tinha como objetivo construir e explorar uma fábrica de pás de rotor para aerogeradores. É gerida pela PowerBlades, SA, empresa detida a 100% pela Repower Systems AG, que detém o "*Know-how*" e a tecnologia para operar e gerir uma fábrica de pás. Em Maio de 2009 teve início a formação prática, e um ano mais tarde foi construída a primeira pá nas instalações da fábrica. A Riablades tem neste momento a si atribuída a produção da pá RE45.2, a ser instalada na turbina *MM92*, o *standard* definido pela Ventinveste na construção dos seus parques eólicos, e recentemente foi iniciada a produção de um novo produto, a RE50.8. Os principais destinos da produção são os mercados da Polónia, Itália, Alemanha, Bélgica e França. A evolução do volume da produção em 2012 é visível na Figura 14.

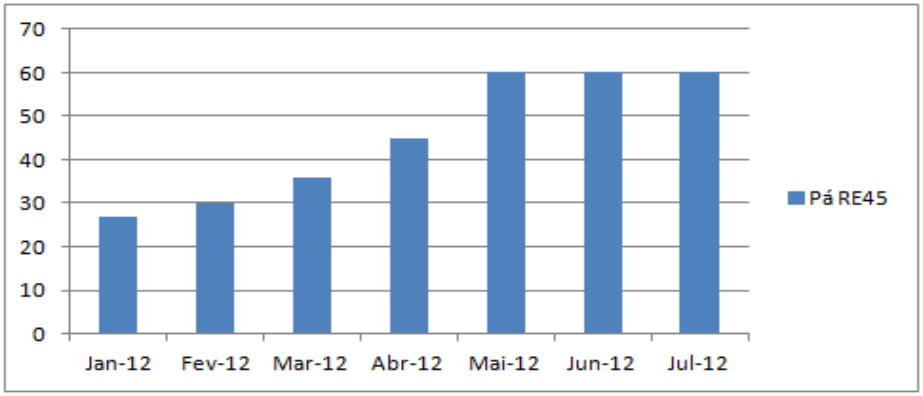

Figura 14 – Volume de produção da pá RE45

Na missão da empresa estão definidos os seguintes objetivos:

- Obter a liderança em qualidade até 2015;
- Ser líder de produtividade no grupo até 2013, e no ramo até 2015;
- Ser líder de inovação de sistemas e processos;
- Conhecer e desenvolver fornecedores e colaboradores.

III.2 – O produto

A turbina eólica é uma máquina que faz a transformação da energia cinética do vento e a transforma em energia mecânica. Essa energia mecânica é depois convertida em eletricidade através de um gerador. Existem dois tipos de turbinas eólicas, sendo que as mais comuns são as turbinas eólicas de eixos horizontais, cerca de 50% mais eficientes que a alternativa de eixo vertical.

Uma turbina de eixo horizontal, ou HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) é constituída por cinco componentes principais, descritos na Figura 15.

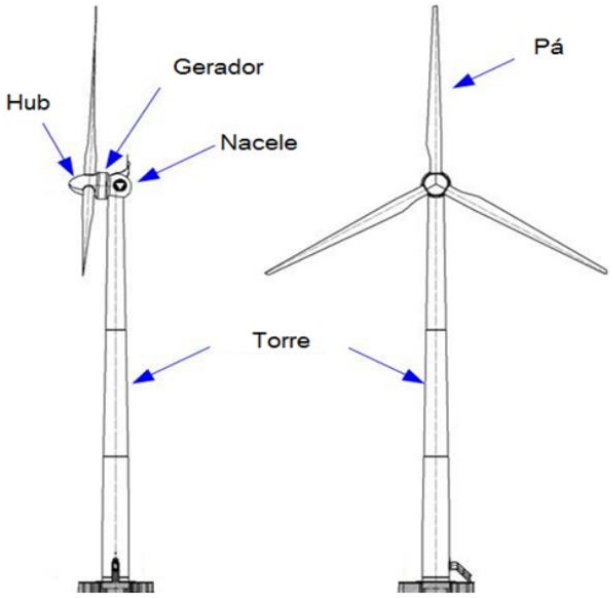

Figura 15 - Partes de uma turbina HAWT

- Torre – É o elemento que suporta os restantes componentes na altura necessária para o funcionamento da turbina eólica;
- Nacele – É o compartimento que abriga no alto da torre todos os mecanismos ligados ao gerador, como a embraiagem, caixa multiplicadora ou controlo eletrónico;
- Gerador – Converte e energia mecânica da rotação do eixo em energia elétrica.
- Rotor ou *hub* – É o componente onde são acopladas as pás e a energia cinética do vento é convertida em energia mecânica. A *hub* está conectada a um eixo que transmite essa energia ao gerador;
- Pás – Captam a energia do vento e transmitem-na à *hub*. Uma turbina eólica é constituída por um *set* de três pás.

É fácil perceber que as pás são o elemento mais importante de uma turbina eólica. Estas são desenhadas tendo em conta cinco objetivos: capturarem o máximo de energia possível, minimizarem a carga e as vibrações na turbina, operarem em temperaturas entre os -40ºC e +40ºC, alcançarem um tempo de vida útil médio de 20 a 25 anos, e serem o mais leve possível.

A produção na Riablades iniciou-se com a pá RE45 (Figura 16). Cada pá mede 45,2 metros e tem um peso médio de 8000 quilos.

Figura 16 – Pá eólica RE45

A RE45 é constituída por duas Main Shells, que constituem o corpo da pá, mais um conjunto de *pre-fabs*. *Pre-fabs* são peças fabricadas em moldes próprios que são depois anexadas às duas Main Shells, tendo a finalidade resistência e flexibilidade à peça final. Desses *pre-fabs* contam-se duas *Webs*, duas Girders, duas Root Joints e uma End Web. A Figura 17 apresenta as peças que formam uma pá eólica.

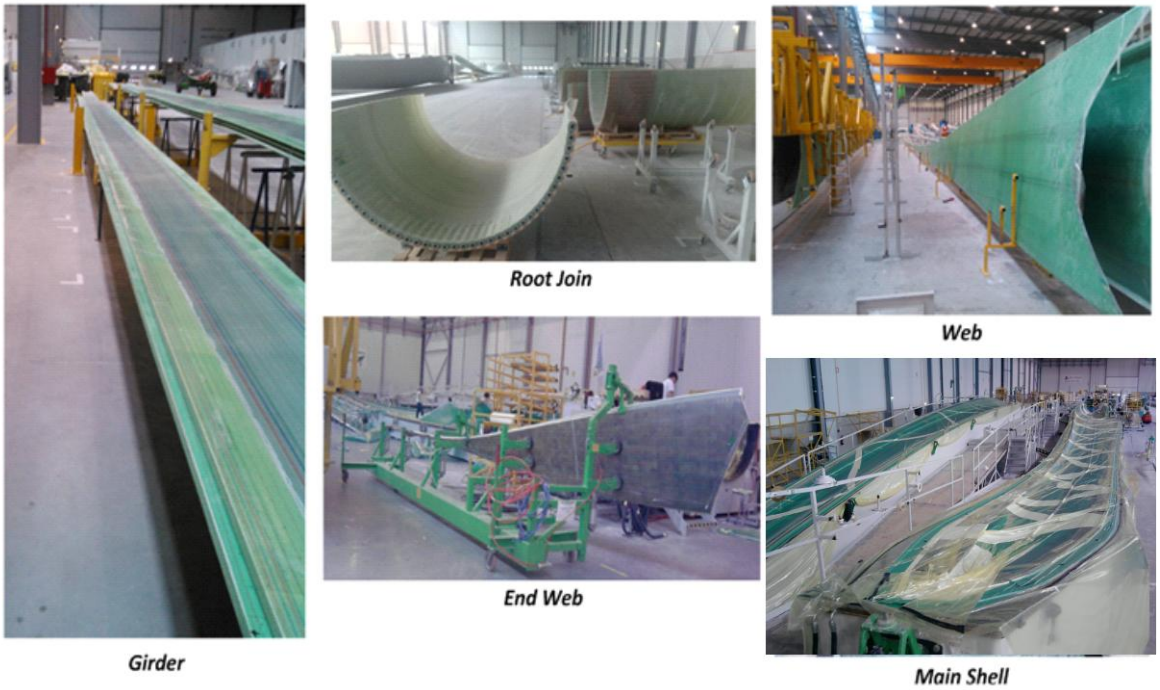

Figura 17 - Peças de uma pá eólica

Na Figura 18 está representada a sequência de montagem dos *pre-fabs* nas Main Shells.

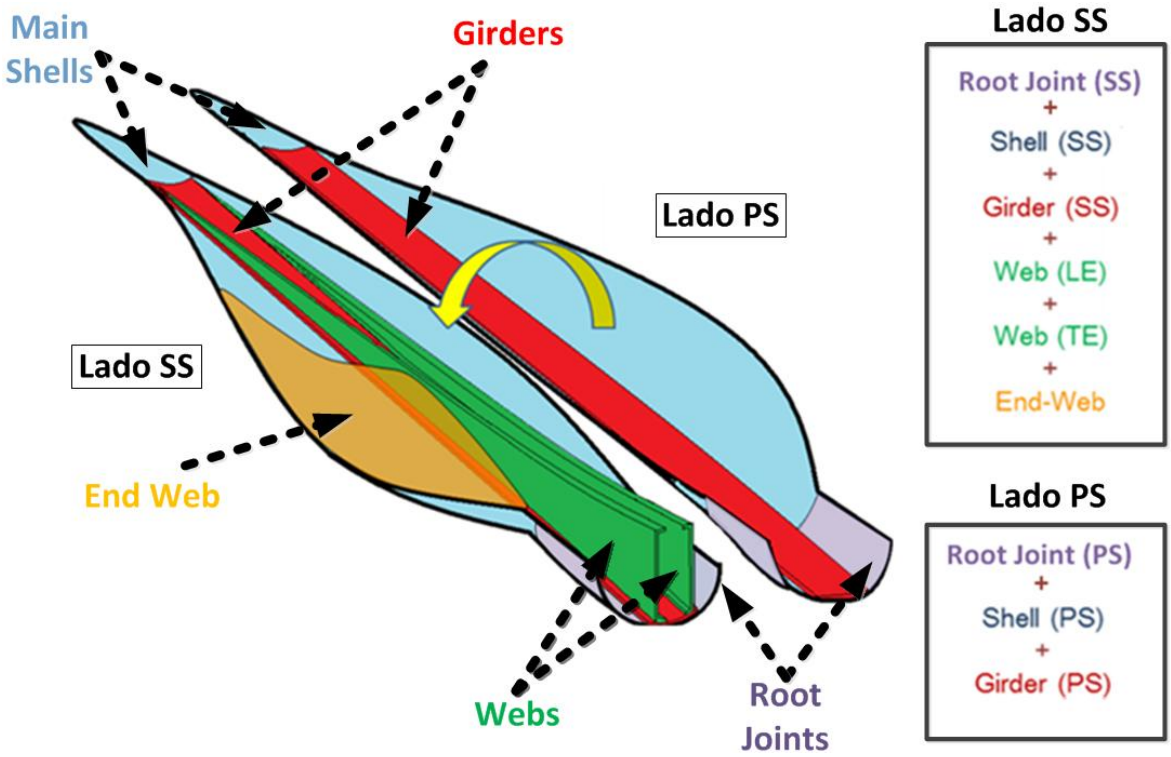

Figura 18 - Sequência da montagem de uma pá eólica

A produção em moldes das peças que compõem a pá eólica são semelhantes entre si, e o processo pode ser descrito sumariamente num conjunto de seis passos, descritos na Figura 19.

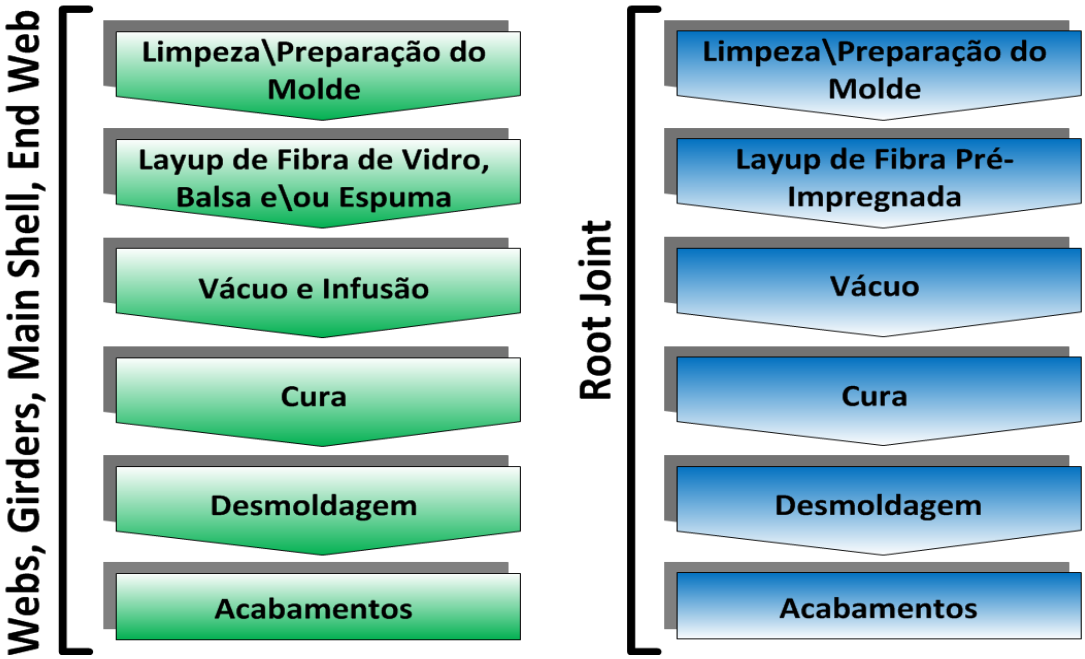

Figura 19 - Passos da produção das Main Shells e pre-fabs

- Passo 1 – Limpeza do molde de restos de resina, fibras ou outros resíduos que possam contaminar a peça final, e é aplicado um agente desmoldante em toda a superfície do molde, de modo a que este não fique colado a peça no momento do desmolde. No caso dos moldes das Main Shells é aplicado também um gel (Gel Coat) que vai proteger a superfície exterior da pá;
- Passo 2 – Consiste no *layup*, que é a sobreposição de camadas de fibra de vidro com um núcleo de madeira de balsa ou células de espuma, utilizados como reforço. No *layup* das Root Joints, a fibra utilizada está pré-impregnada com resina, denominada de fibra pre-preg, não sendo utilizado nenhum material de reforço;
- Passo 3 – Neste passo é feita a infusão de uma matriz líquida de resina *epóxi* misturada com um endurecedor, matriz essa que é dispersa uniformemente por toda a peça através de vácuo. A fibra utilizada nas Root Joints tem já resina impregnada, sendo apenas feito vácuo para comprimir as camadas de fibra;
- Passo 4 – As peças passam por um processo de cura que vai solidificar a matriz e endurecer a peça. No caso das Main Shells, previamente à cura, o molde do lado PS é fechado sobre o lado SS e as peças coladas, formando uma pá completa;
- Passo 5 – É feito o desmolde da peça;
- Passo 6 – Por último são feitos acertos na peça, calibração e acabamentos finais.

A nave fabril da RiaBlades é constituída por dois edifícios principais. O primeiro edifício é destinado à produção das Main Shells, *pre-fabs* e à montagem da pá RE45. No seu *layout* estão dispostos três moldes principais com o conjunto de Main Shell PS e Main *Shell* SS, dois moldes de Webs, seis moldes de Girders, uma área de produção e quatro fornos de cura Root Joints, e ainda estruturas para transporte, reparação e stock de Girders e Webs.

Depois de desmoldada e inspecionada, a pá colada é transportada para o edifício de acabamentos. Neste edifício existem seis áreas onde a pá é trabalhada antes de ser considerada produto acabado:

- Posição 1 – Os restos de cola são desbastados e as ligações entre as duas metades da pá são reforçadas, nomeadamente na zona da união entre as duas Root Joints e na End Web.
- Posição 2 – São feitos acertos na base da pá onde está a Root Joint, a End Web é pintada e as ligações das Webs são reforçadas com cola.
- Posição 3 – Os reforços feitos na posição anterior são curados, a pá é pintada e é anexada a RCO, um sub componente que sela o interior da pá (Figura 20).
- Posição 4 – São dados os últimos retoques e a pá é calibrada.
- Posição de pesagem – A pá é pesada e calibrada com outras duas pás que formam um set.

- Posição de *packing* – A pá é colocada em suportes de metal e transportada para *stock*.

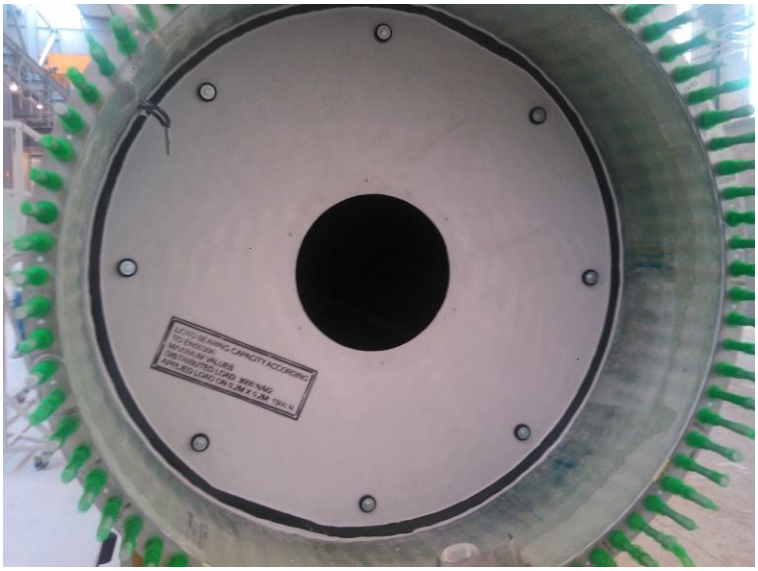

Figura 20 – Pá eólica selada por uma RCO

É também neste segundo edifício que são feitos os acabamentos e reparações das Root Joints.

Anexos a estes edifícios existem áreas de armazenamento de matérias-primas, corte de fibras e produção de subcomponentes. O *layout* dos edifícios é apresentado na Figura 21.

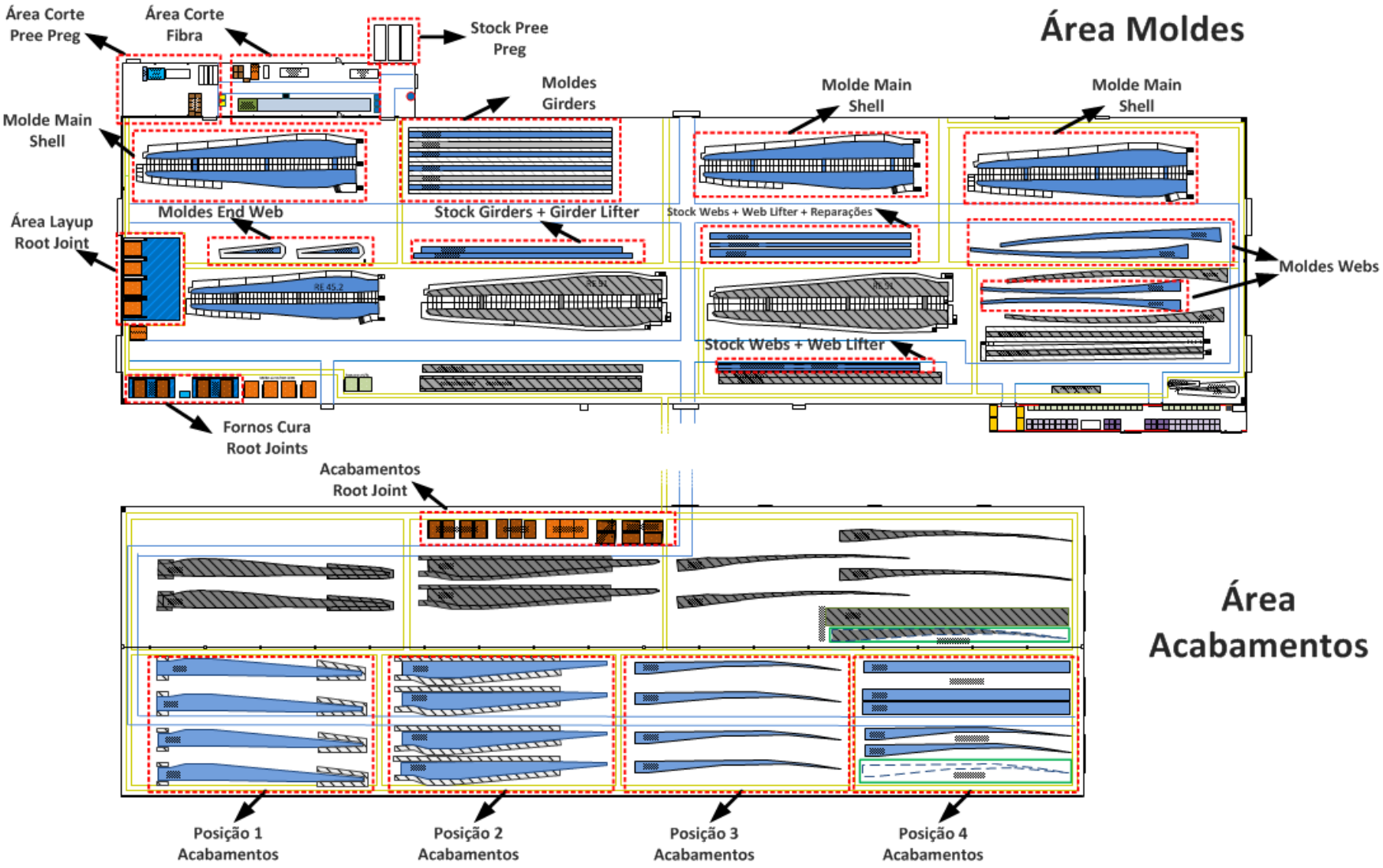

Figura 21 - *Layout* Riablades atual

III.3 - Enquadramento do caso de estudo

O aumento da produção, aliado à introdução de um novo molde de RE45 e o início da produção de um novo produto, a pá RE51, vieram perspetivar alguns problemas e a necessidade de implementar ferramentas *Lean*, tendo em vista os seguintes objetivos:

- Controlo de *stocks;*
- Redução de tempos de espera e de transporte;
- Afetação mais eficiente dos equipamentos aos processos;
- Nivelamento da produção.

Para uma melhor compreensão dos processos e atividades que envolvem a produção de uma pá RE45, foi criado um mapa do fluxo de valor (VSM) que vai permitir a identificação de possíveis fontes de desperdício e oportunidades de melhoria, desde o momento em que é feito o pedido até a entrega do produto final. Depois da análise deste primeiro mapa, que representa o estado atual, foi desenvolvido um mapa de fluxo de valor do estado futuro, onde são aplicadas as propostas de melhoria.

III.4 – VSM atual

A pá RE45 envolve a produção de várias peças feitas em moldes, que atravessam fases semelhantes durante o processo produtivo e que se juntam para formar o produto final. No VSM estarão também representados os equipamentos utilizados na movimentação dessas peças entre os processos.

Para a construção dos mapas de fluxo de valor recorreu-se ao *software* Microsoft Visio, e foi utilizada a simbologia proposta pelo *Lean Institute* e simbologia adaptada.

III.4.1 – Cálculo do *Takt Time*

Como já foi referido no Capítulo 2, o ritmo a que cada uma das peças deve ser processada de modo a responder ao volume da encomenda é denominado por *Takt Time* e a fórmula geral de cálculo é a seguinte:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ Disponível}{Procura}$$

O tempo disponível de produção resulta da multiplicação dos dias de trabalho do mês pelos tempos de trabalho dos três turnos subtraídos a todas as pausas. A procura ou encomenda corresponde ao número de *sets* de três pás a produzir nesse mês.

Assim sendo, os valores do *Takt Time* foram obtidos através da seguinte equação:

$$Takt\ Time = \frac{(Tempo\ de\ Trabalho - Pausas)}{N°\ de\ Sets\ \times\ N°\ de\ Pás\ por\ Set} \times N°\ de\ Dias\ de\ Trabalho\ no\ Mês$$

Apesar de sujeita a ajustes, a encomenda é feita numa base anual, o que significa que o volume de produção pode ser dividido por cada mês.

Os dados da Tabela 2 são referentes às necessidades de 36 pás RE45 em Março de 2012.

	1º Turno (h)	Pausa 1º Turno (h)	2º Turno (h)	Pausa 2º Turno (h)	3º Turno (h)	Pausa 3º Turno (h)	Nº Dias Trabalho no Mês	Nº Sets	Nº Pás p\ Set	TAKT TIME (H)
Corte Fibra	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Corte Fibra Pre-Preg	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
Root Joint SS (Layup)	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
Root Joint PS (Layup)	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
Root Joint SS (Cura)	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Root Joint PS (Cura)	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Root Joint SS (Corte)	8,5	0,75	0	0	8	0,58	22	12	3	**9,3**
Root Joint PS (Corte)	8,5	0,75	0	0	8	0,58	22	12	3	**9,3**
Web HK	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Web VK	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Girder PS	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
Girder SS	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
End Web	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
RCO	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	22	12	3	**9,5**
Main Shell SS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Main Shell PS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Posição 1	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Posição 2	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Posição 3	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Posição 4	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Balança	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**
Packing	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	22	12	3	**14**

Tabela 3 - Tempos de ciclo e intervalo de cedência de cada processo

Através da análise dos valores da tabela correspondente ao *takt time* percebe-se que, para responder à procura do mês de Março, era necessário que saísse da fábrica uma pá a cada catorze horas.

III.4.2 – Cálculo do tempo de ciclo

Depois de determinado o *takt time* de cada componente é necessário saber qual o desempenho real dos processos e a capacidade de produzir ao ritmo necessário.

Os processos de produção de cada componente da pá são acompanhados por um Quadro de Seguimento onde são registados pelos operadores os tempos de cada atividade dentro desse processo. Para além dos tempos reais, estão também definidos neste quadro os tempos objetivo, que servem como orientação para atingir o tempo de ciclo definido e permitir o ajuste em caso de atrasos ou problemas em alguma atividade do processo de produção de uma peça. Os tempos objetivo dessas atividades são atualizados periodicamente, de modo a estarem o mais próximos possível dos tempos reais, e pode por esse motivo considerar-se que o tempo objetivo total do processo representa o tempo de ciclo desse processo. Nos processos que envolvem a pá colada, os tempos de ciclo foram obtidos através dos dados resultantes da observação de três pás. Para a análise dos dados, e porque existem em alguns casos mais do que um molde ou área de trabalho capaz de produzir ou trabalhar uma peça igual, considera-se uma nova variável designada de intervalo de cedência, que representa o intervalo de tempo teórico em que um determinado tipo de componente está disponível. O intervalo de cedência é calculado da seguinte forma:

$$Intervalo\ de\ Cedência\ de\ Peça = \frac{Tempo\ de\ Ciclo}{Capacidade\ de\ Produção\ Simultânea}$$

A variável *Capacidade de Produção de Peça* representa o número de moldes ou áreas de trabalho com capacidade para ceder um mesmo tipo de peça para o processo seguinte. No caso do corte de fibra de vidro e fibra *pre-preg*, esta variável representa o tamanho, correspondente em pás, do lote de corte.

Na Tabela 2 são apresentados os valores do tempo de ciclo e o intervalo de cedência de cada peça, referentes a Março de 2012.

	Tempo de Ciclo (horas)	Capacidade Produção Simultânea (nº pás)	Intervalo de Cedência de Peça (horas)
Corte Fibra de Vidro	32	6	5,3
Corte Fibra Pre-Preg	12,5	3	4,2
Root Joint SS (Layup)	7,5	2	3,8
Root Joint PS (Layup)	7,5	2	3,8
Root Joint SS (Cura)	12	2	6
Root Joint PS (Cura)	12	2	6
Root Joint SS (Corte)	2	1	2
Root Joint PS (Corte)	2	1	2
Web HK	9,8	1	9,8
Web VK	9	1	9
Girder PS	16,3	2	8,2
Girder SS	16,3	2	8,2
End Web	12,5	2	6,3
RCO	5,3	1	5,3
Main Shell SS	32	3	10,7
Main Shell PS	16	3	5,3
Posição 1	38,4	4	9,6
Posição 2	38,4	4	9,6
Posição 3	38,4	4	9,6
Posição 4	38,4	4	9,6
Balança	5	3	1,7
Packing	12	3	4

Tabela 2 - Tempos de ciclo e intervalo de cedência de cada processo

De todos os *pre-fabs*, verifica-se que a Root Joint é aquele que tem um tempo de ciclo total maior, somando um total de 21,5 horas no conjunto dos processos de *layup,* cura e corte da peça. Destacam-se ainda as posições 1, 2, 3 e 4 dos acabamentos, onde a peça soma 153,6 horas de operações. Muito deste tempo resulta de atividades relacionadas com reparações feitas à pá colada.

III.4.3 – Construção do VSM atual

A análise do fluxo de valor começa pela compreensão do modo como a informação se processa desde o pedido do cliente até ao início da produção na fábrica. No caso em estudo, a encomenda da pá RE45 é feita pelo grupo REpower com uma periodicidade anual. Tendo como base esses valores, é então definido o plano de produção para o ano seguinte, plano esse que será depois analisado semanalmente para avaliar o seu cumprimento e efetuar ajustes em caso de desvios. Isto traduz uma produção do tipo *Pull*, já que é a procura que vai determinar a quantidade a produzir.

Definido o plano de produção, é feito o planeamento das necessidades de materiais (MRP) e os dados registados em SAP. A compra de matérias-primas será depois efetuada pelo departamento de compras com base nessa informação.

Muitos dos fornecedores encontram-se em países do centro da europa, o que leva a que o tempo de transporte possa ultrapassar uma semana. A isto somam-se tempos de *lead time* de produção de matérias-primas que atingem as seis semanas.

No momento em que chega à fábrica, toda a matéria-prima é inspecionada pelo departamento de qualidade e após aprovação é colocada em *stock*. Devido aos elevados tempos de *lead time* e transporte, existem materiais com níveis de *stock* muito elevados. À data da análise inicial, o material em *stock* com a relação entre o valor e quantidade mais significativa representava 94 dias de produção.

Ao longo da cadeia dos processos, são efetuadas inspeções para garantir a qualidade, desde os *pre-fabs* até à pá pintada. Só depois de inspecionada e validada pelo cliente a pá segue para *stock* exterior e a sua venda pode ser faturada.

Na Figura 22 está representado o VSM da pá RE45, com a área de produção agrupada em corte de fibras, moldes de *pre-fabs*, moldes da Main Shell e pá colada:

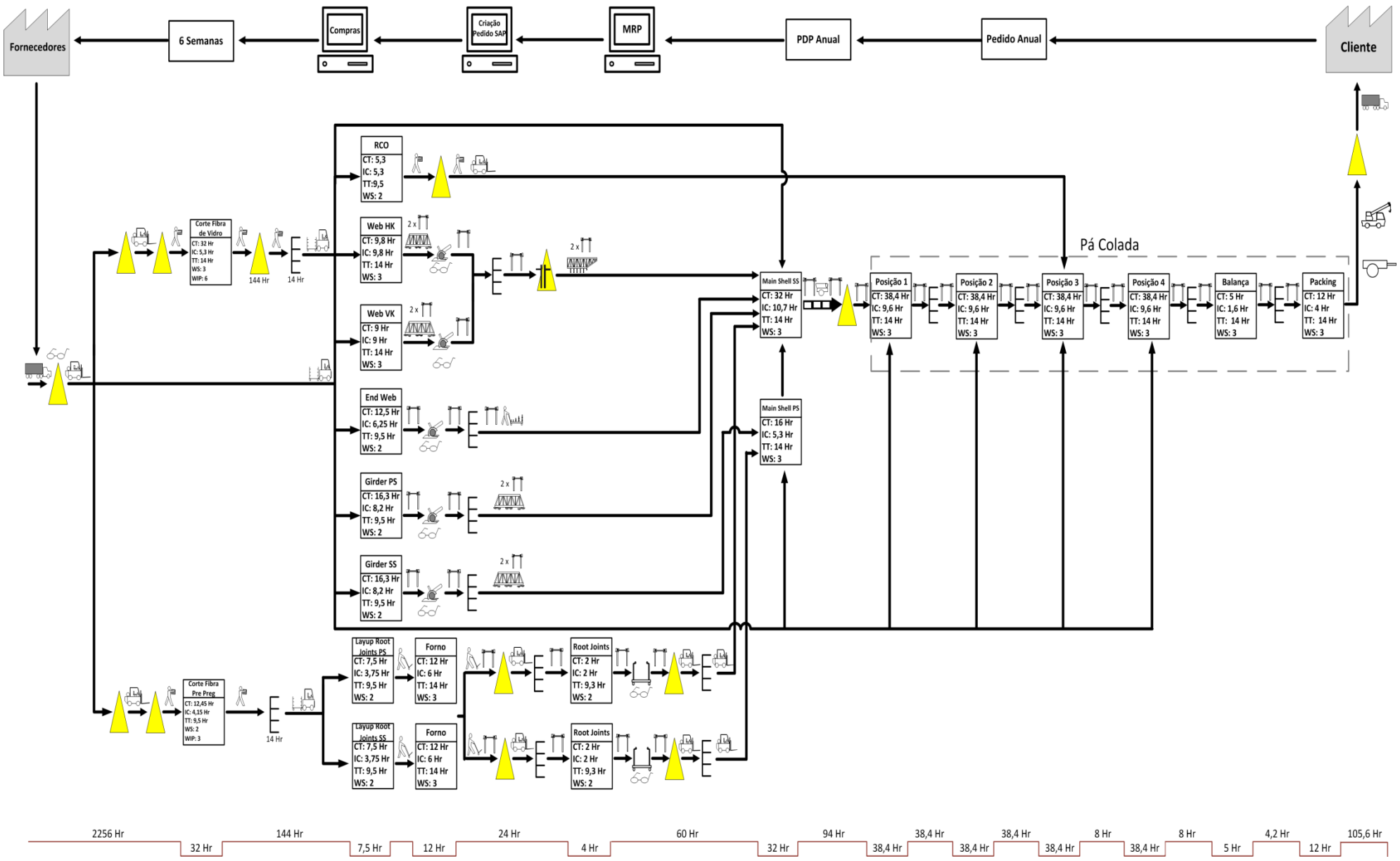

Figura 22 – VSM estado atual

A análise do VSM revela que o lead time total é de 3038 horas, sendo que cerca de 91% são atividades que não acrescentam valor ao produto final. O maior contributo para estes valores vem do *stock* de matéria-prima. À data da recolha dos dados, a matéria-prima com maior relação entre o valor e dias de *stock* era a fibra de vidro, com cerca de 94 dias de material armazenado, o equivalente à produção de 155 pás eólicas. Contam-se ainda elevados *stocks* intermédios e períodos de espera entre processos. Os tempos produtivos somam 258 horas, sendo que existe um esforço para reduzir estes valores através de melhorias implementadas nos processos.

III.4.3.1 – Root Joints

A Root Joint é o *pre-fab* com o tempo de ciclo total mais elevado, criando um gargalo no processo produtivo que limita a capacidade de output de pás.

No *layup* da Root Joint é utilizado um tipo de fibra pré-impregnada, denominada de fibra *pre-preg*. Esta fibra tem um prazo de validade limitado e é necessário mantê-la a temperatura controlada num armazém de frio, onde se pode conservar até um mês a uma temperatura de 0 °C. Antes de poder passar pela fase de corte, a fibra *pre-preg* transita para um *stock* intermédio à temperatura ambiente, onde fica a descongelar por um período de 24 horas. Ao fim desse tempo fibra é cortada, etiquetada e transportada até à área de *layup*.

Ao contrário das restantes peças, em que é o próprio molde que gera o aumento de temperatura para a cura, os moldes com as Root Joints têm que ser transportadas para um forno onde será curada a altas temperaturas durante um período de 12 horas.

Depois de curadas, as Root Joints são desmoldadas para um *stock* intermédio por uma ponte rolante e transportadas depois por empilhador até ao edifício de acabamentos. As peças são então cortadas, inspecionadas e colocadas num novo *stock* intermédio, onde ficam em espera até serem transportadas por empilhador até um supermercado no armazém logístico.

A produção da Root Joint tem uma grande quantidade de desperdícios associados em termos de *stocks* intermédios, movimentações e transportes. Uma análise ao percurso da peça revelou que, desde a receção da matéria-prima até ao momento em que está pronta para *stock* final, cada Root Joint percorre aproximadamente 450 metros. Para além dos desperdícios já referidos, todas estas deslocações ocupam meios logísticos.

A Figura 23 representa o fluxo atual de materiais e produção de uma Root Joint.

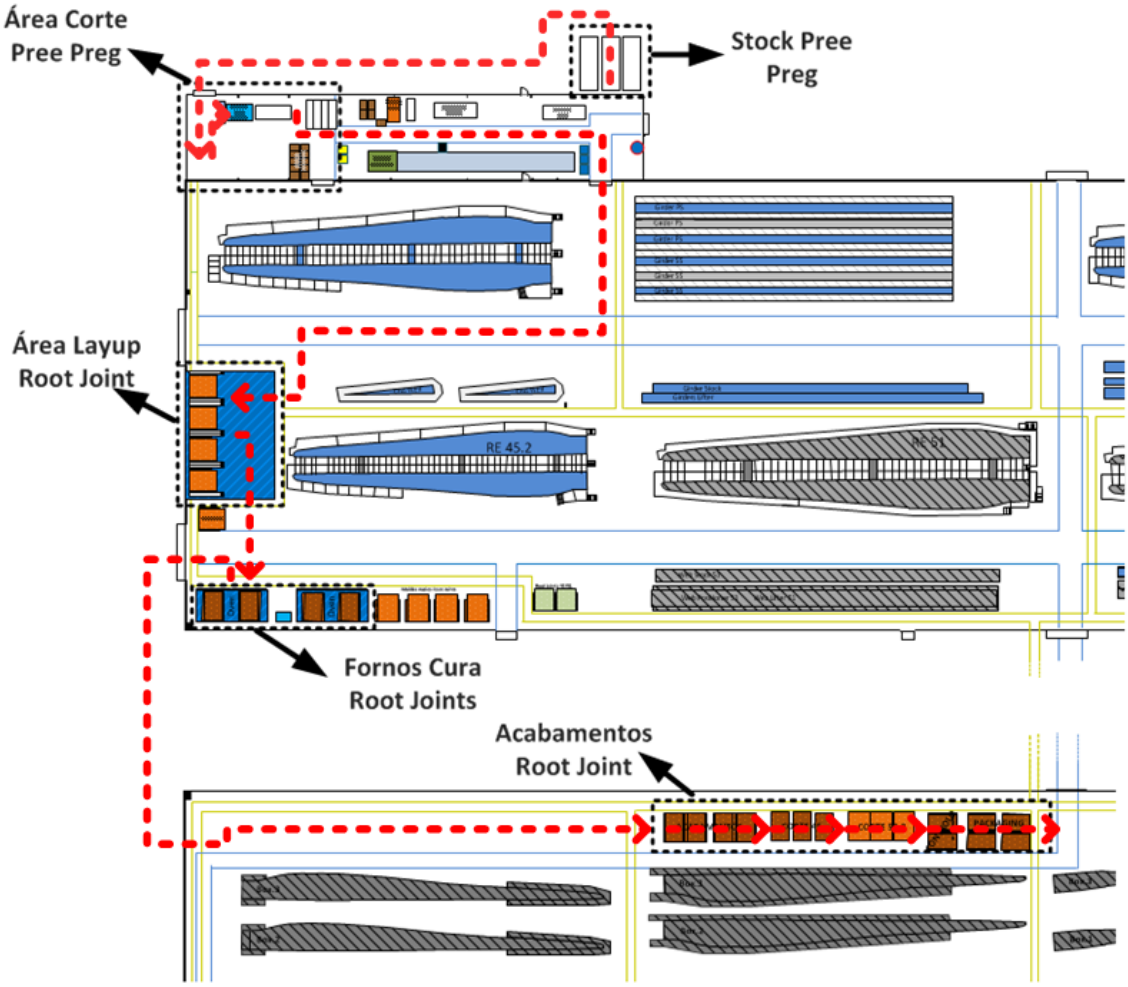

Figura 23 – *Layout* e fluxo atual da produção de Root Joints

Uma das ações definidas foi a transferência de todas as atividades e processos ligados à produção de Root Joints para um único edifício independente e que funcionará como uma linha de produção com um fluxo contínuo. Com a configuração proposta consegue-se uma redução da distância percorrida em transportes e movimentações em cerca de 70%, assim como a eliminação de *stocks* intermédios e libertação de meios de transporte logísticos.

A zona de frio onde a fibra *pre-preg* é armazenada tem uma grande margem para melhorias e redução de custos. Atualmente, a fibra é armazenada em três contentores frigoríficos com sistemas de refrigeração independentes, que permitem trocas térmicas com o exterior durante cargas ou descargas do material. Ao juntar a capacidade dos contentores numa única área com temperatura controlada e ao colocar cortinas que previnam a dissipação de frio para o exterior, consegue-se uma diminuição no consumo de energia.

No novo *layout*, as áreas de corte de fibras e de *layup* ficarão localizadas numa área comum. Isso permite o controlo visual do momento em que é necessário fazer a reposição de fibra para o *layout* e recolha de suportes vazios, facilitando a troca e reduzindo tempos de paragem entre a entrega de suportes cheios e recolha de vazios.

A área de acabamentos e inspeção das Root Joints terá uma ponte rolante dedicada, eliminando a necessidade de utilização de empilhador até ao momento em que a peça será transportada até ao armazém.

A configuração proposta para o *layout* e o novo fluxo de materiais e peças é visível na Figura 23.

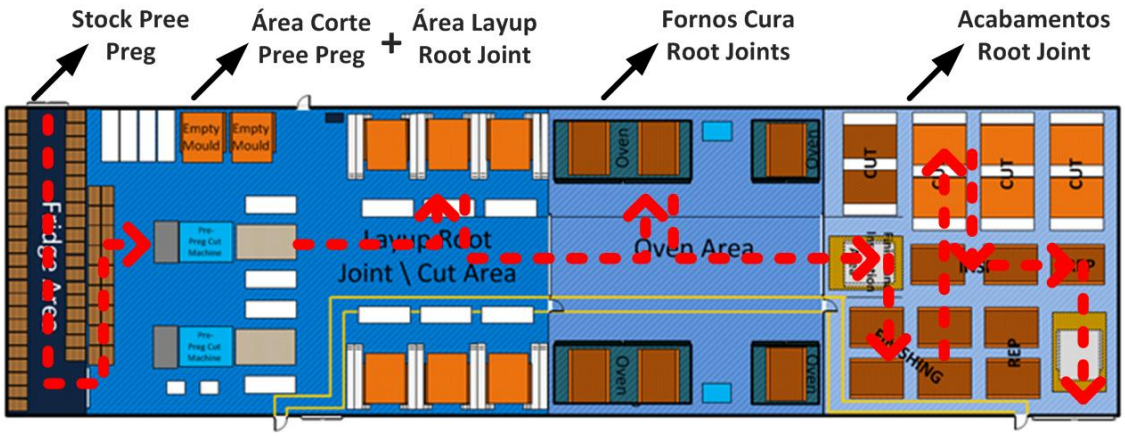

Figura 24 – *Layout* e fluxo proposto para a produção de Root Joints

Apesar das vantagens que esta medida traria em termos de melhoria de fluxo e redução de desperdícios, trata-se de um investimento elevado que carece ainda de aprovação.

Um dos pontos onde se tem procurado um ganho de eficiência é no processo de cura.

O cenário inicial inclui dois fornos de cura com capacidade de trabalhar 24 horas por dia e curar duas peças simultaneamente durante 12 horas, dois moldes em processo de *layup* e dois turnos de operadores a efetuar o processo de *layup.* O plano de produção que maximiza o output para 20 Root Joints, ou 10 pás por semana, é descrito na Figura 24.

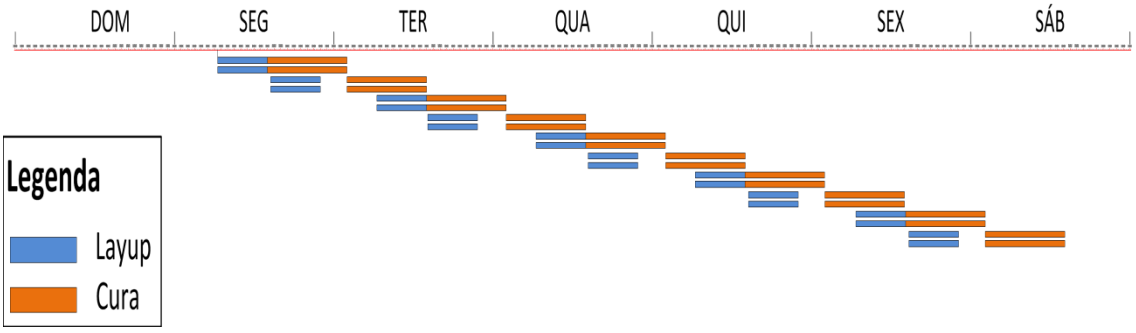

Figura 25 – Plano inicial de produção semanal de Root Joints da pá RE45

O cenário atual apresentado na Figura 26 inclui a aquisição de mais dois fornos – um deles dedicado à Root Joint da pá RE51 – e dois moldes de *layup*, assim como a abertura do terceiro turno de trabalho. Este cenário prevê uma capacidade de 36 Root Joints ou 18 pás por semana e reflete ainda uma otimização do tempo de cura, que se encontra agora nas 10 horas.

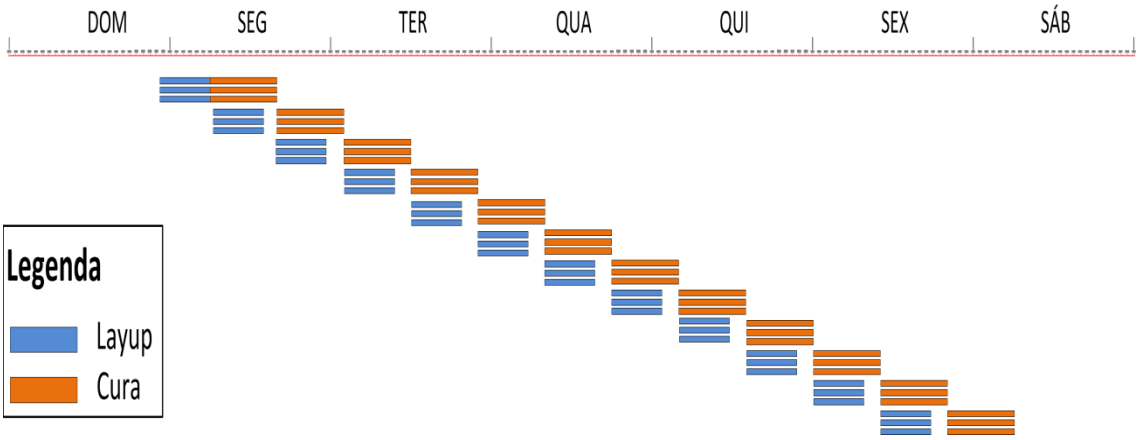

Figura 26 – Plano atual de produção semanal de RootJjoints da pá RE45

III.4.3.2 – Webs

Cerca de 14 horas antes do início da produção da peça, as fibras e outros materiais de apoio são carregados em dois suportes de abastecimento: um para o topo do molde e um segundo para a base do mesmo. No entanto, esses suportes de materiais de *layup* estão subaproveitados para o volume de fibra utilizada.

Foi definida uma alteração nos meios logísticos de transporte e abastecimento de fibras e espuma, com a redução do número de veículos que abastece cada molde de webs. Um único veículo transporta toda a fibra e restantes materiais, sendo parte desse material transferido para uma estrutura mais pequena, próxima do topo do molde, onde esses materiais serão utilizados. O veículo com os restantes materiais é então transportado até à base do molde.

As caixas com a espuma que é utilizada no *layup* são transportadas numa base rolante e descarregadas no chão. Os operadores têm depois que se deslocar até ao local onde estão depositadas essas caixas, recolher as placas de espuma ao nível do solo e regressar à posição no molde onde essa espuma será utilizada.

Para um melhor acomodamento deste material foi desenvolvida uma estrutura que transporta duas caixas numa posição inclinada, costas com costas. Na chegada ao molde, essa estrutura divide-se em dois veículos independentes: um fica mais próximo do topo do molde e o segundo na base, cada um ocupando metade do espaço que aquele que seria necessário na solução de abastecimento anterior. As caixas de espuma ficam deste

modo numa posição mais ergonómica e podem ser facilmente deslocadas ao longo do molde e mais próximas do local onde são necessárias. O suporte de caixas de espuma desenvolvido é ilustrado na Figura 27.

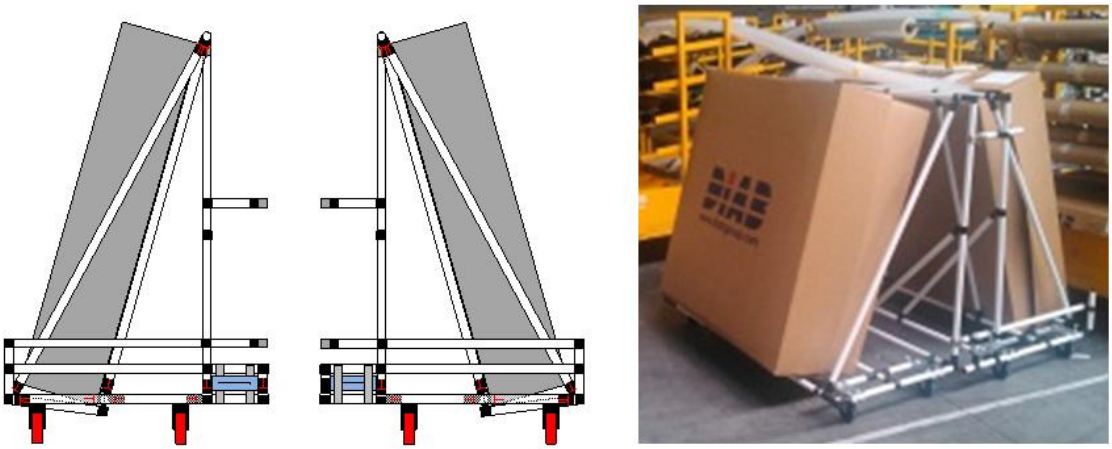

Figura 27 – Veículo para transporte de Balsa e espuma

A alteração dos fluxos no abastecimento e aplicação de espuma nos moldes das Webs está representada na Figura 28.

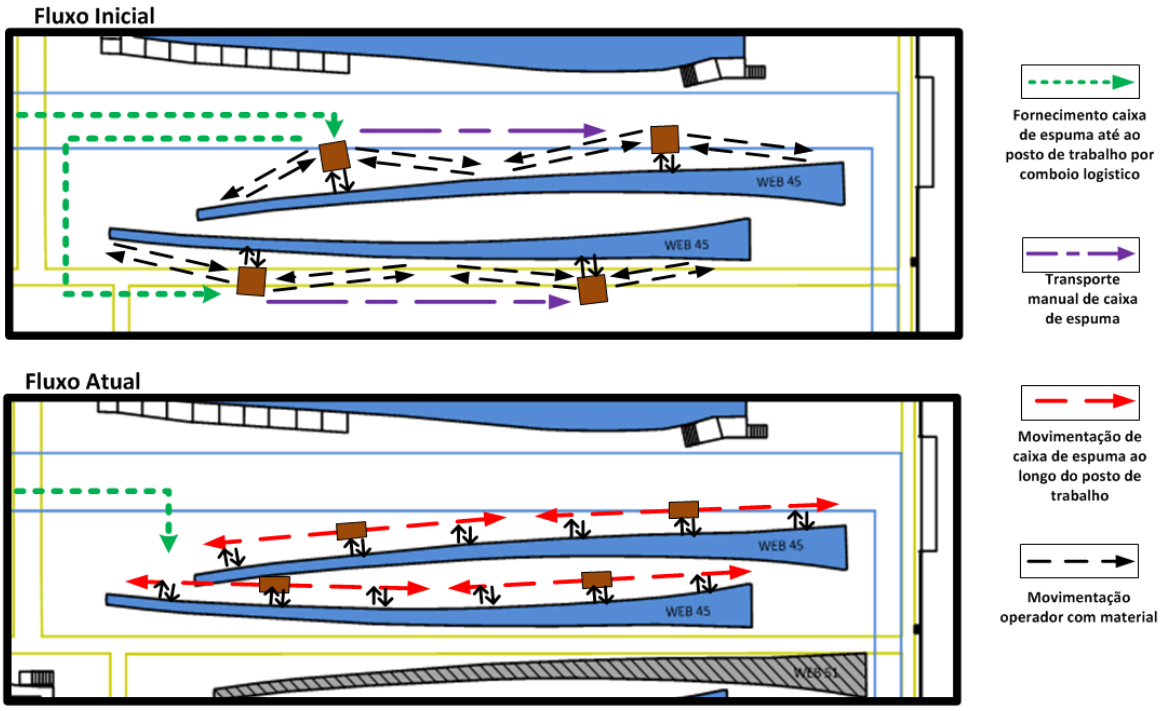

Figura 28 – Fluxo de abastecimento e aplicação de espuma nos moldes de Webs

Depois do *layup* e da cura estarem completos, a peça está pronta para ser desmoldada. Para isso é utilizada uma estrutura com vários pontos de vácuo que retiram a peça do molde e a transportam até ao local onde são feitas reparações e acabamentos, antes de

ser colocadas em *stock*. Essa estrutura, denominada de Girder Lifter, é por sua vez deslocada por duas pontes rolantes. Para além da ocupação destes equipamentos, a desmoldagem das Webs está também dependente da disponibilidade do pessoal logístico.

Para facilitar o processo de desmoldagem e transporte das webs foi desenvolvido um conjunto de sete suportes móveis de tamanhos diferentes, com um conceito baseado nas bonecas russas *matryoshka*s. A web é desmoldada manualmente e colocada sobre os suportes, sendo depois transportada até à zona de reparações pelos próprios operadores, sem necessidade de esperar por pessoal logístico ou pela disponibilidade da Girder Lifter ou pontes rolantes, possibilitando de imediato o início da produção de uma nova peça. Quando não estão a ser utilizados, os carros vazios passam a ocupar uma área reduzida do chão da fábrica e podem ser facilmente transportados por um único operador. Os carros de desmolde e transporte de Webs são ilustrados na Figura 29.

Figura 29 – Conjunto de carros de transporte de Webs

III.4.3.3 – Girders

No *layup* das Girders incluem-se fibra de vidro, espuma e balsa. Por serem utilizados em quantidades relativamente reduzidas, estes últimos dois materiais vêm juntos numa única caixa transportada por uma base rolante. Os operadores têm depois de escolher o material que irão utilizar e transportá-lo até ao local onde este será aplicado. A melhoria neste ponto deve passar pelo fornecimento de balsa e espuma em caixas separadas, facilitando o manuseamento dos materiais e reduzindo o tempo despendido.

O desmolde da peça é feito por Girder Lifter, ocupando ainda duas pontes rolantes, e transportada depois até ao local onde serão feitos os acabamentos finais. Quando pronta, a Girder é novamente movida por Girder Lifter até ao local onde ficará em *stock*. Um dos problemas que se levantou com a introdução de um quarto molde de Main Shells RE45 é que o Girder Lifter não consegue deslocar as peças até ao novo molde, na outra metade

do edifício. As Girders são mais pesadas e têm uma superfície menor que as Webs, o que as torna demasiado instáveis para serem transportadas do mesmo modo, através do conjunto de carros. Foi então desenvolvido um novo conjunto de carros com o mesmo princípio dos carros de transporte das Webs, mas que permite uma maior estabilidade na movimentação (Figura 30).

Figura 30 - Conjunto de carros de transporte de Girders

O desmolde continua a ser feito por Girder Lifter mas a peça é transferida de imediato para este novo conjunto de carros de apoio, possibilitando o transporte de peças para qualquer zona da nave fabril e reduzindo o tempo de ocupação dos equipamentos.

III.4.3.4 – Main Shell

Numa fase inicial, os três moldes existentes de Main Shells da pá RE45 não tinham tempos de ciclo iguais entre si. Apesar de se conseguirem tempos de ciclo inferiores a um dia, a produção nas Main Shells não se encontrava nivelada, e um conjunto de moldes de Main Shells podia demorar mais de 55 horas a produzir uma pá colada, com cada operador a executar todas as etapas do processo.

Um dos passos mais importantes para que a produção atingisse o volume de produção de 15 pás por semana com três moldes de Main Shells foi a estabilização deste processo, desde a preparação do molde até ao desmolde da pá colada, num ciclo inferior a 24 horas, onde cada turno de trabalho é especializado numa das fases deste processo.

O processo tornou-se mais previsível, possibilitando um planeamento mais ajustado dos restantes processos e componentes, tanto a montante como a jusante.

Antes do início do *layup*, as Root Joints dos lados PS e SS são transportadas do armazém por empilhadores e colocadas nas respetivas Main Shells com a ajuda de uma ponte rolante. A meio do *layup*, as Girders correspondentes aos lados PS e SS são levantadas do

stock por Girder Lifter e colocadas nas Main Shells, sendo de seguida terminado o *layup* da balsa e espuma.

As caixas de balsa e de espuma que fazem parte do *layup* são transportadas em bases rolantes e colocadas no chão ou nos passadiços que circundam os moldes.

Para facilitar o acesso a estes materiais de *layup* foi implementado um sistema de transporte de balsa e espuma igual ao utilizado na produção das Webs. Nas zonas onde essa solução não é possível aplicar, foram criados suportes que facilitam o acesso aos materiais.

Depois de feita a infusão de resina e cura em ambos os moldes, são transportadas duas Webs por Web Lifter e coladas na Main Shell SS. Finalmente, o molde é fechado e as Main Shells dos lado SS e PS são coladas e curadas, formando uma pá completa. A pá colada é desmoldada por duas pontes rolantes e colocada sobre um conjunto de veículos que a vão transportar até ao edifício de acabamentos.

Durante a produção das Main Shells são utilizados materiais de suporte ao *layup*, sistemas auxiliares como pontos de vácuo e corrente elétrica ou ferramentas para posicionar os *pre-fabs* nas Main Shells. Devido à incerteza inicial no processo produtivo e ao fato de os moldes não terem chegado a fábrica ao mesmo tempo, não existe uma localização ou quantidades específicas para cada um destes elementos. Foi feito um levantamento do que existia em cada um dos três moldes e avaliado o que deveria ser replicado nos restantes ou reajustado. Com o acompanhamento do responsável pela equipa de produção, foi criado um *standard* para todas as Main Shells e definido um plano de ações. Para além de reduzir tempo em deslocações e procura de ferramentas ou materiais, esta medida vai também ter impacto nos consumos, já que a quantidade disponível dos materiais de apoio fica melhor definida. O mapa do *standard* a aplicar nos moldes das Main Shells é ilustrado na Figura 31.

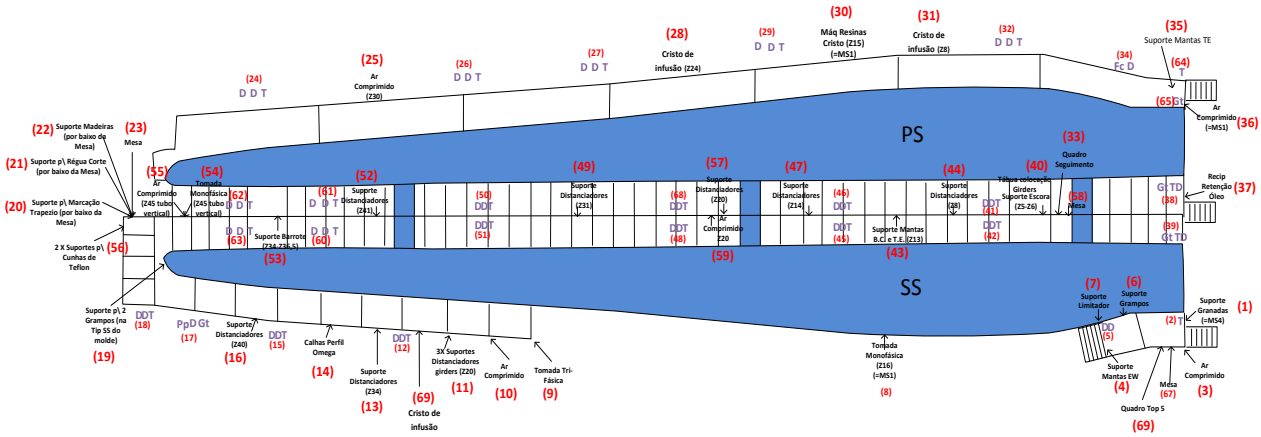

Figura 31 – *Standard* final dos moldes das Main Shells da pá RE45

III.4.3.5 – Pá Colada

Cada pá que atravessa o edifício dos acabamentos tem um conjunto de documentação associada e que vai sendo preenchida à medida que a pá avança no fluxo de processos. Se considerarmos que num mesmo momento podem encontrar-se mais de 12 pás a atravessar simultaneamente processos de acabamentos, percebe-se que a falta de um local adequado para organizar a documentação de cada pá acaba por causar grandes incómodos. A mistura de documentos de pás diferentes ou o desaparecimento dos mesmos são consequências comuns dessa falta de organização. A solução proposta foi a criação de suportes móveis de documentação que acompanham cada pá, desde o momento em que entram no edifício até serem transportadas para *stock* (Figura 32).

Figura 32 – Suporte de documentação

Uma das maiores causas de atrasos nos processos que decorrem no edifício de acabamentos são as reparações efetuadas na pá devido a defeitos decorridos na produção das Main Shells. Apesar dos esforços para eliminar as causas destes defeitos, o facto de se tratarem de peças muito volumosas e com um processo de produção manual, implica que o fator erro humano esteja muito presente. Enquanto que algumas dessas reparações podem ser concluídas rapidamente, existem outras que necessitam de várias horas ou até dias de trabalho. Atualmente, as pás com reparações mais complexas ou demoradas entram no sistema da mesma forma que as restantes. Essas reparações vão sendo feitas à medida que a pá vai avançando pelas posições dos acabamentos, provocando o entupimento do fluxo. A medida proposta para resolver este problema foi a criação de uma zona de reparações fora do circuito normal de produção. As pás, nas quais

sejam detetados defeitos mais críticos, são identificadas à saída do edifício de moldes e colocadas nessa nova área até que as reparações estejam concluídas. A pá poderá depois entrar no circuito normal de produção sem afetar o fluxo dos processos.

Dos componentes secundários de uma pá eólica, a RCO é a mais significativa em termos de tempo de ciclo de produção e tamanho. A RCO funciona como uma tampa, protegendo o interior da pá e é colocada na pá na posição 3 dos acabamentos. Depois de terminada a produção da RCO, esta é colocada numa estrutura com rodas em forma de mesa e transferida depois para um *stock* ao nível do chão, de forma pouco organizada. Quando é necessária, a peça é colocada sobre uma base rolante adaptada com capacidade para transportar apenas uma RCO em cada viagem e levada para junto da pá, onde será depois anexada à pá.

Com o objetivo de reduzir o número de transferências pelas quais a peça era sujeita, foi desenvolvida uma estrutura móvel que serve não só como transporte mas também como *stock* para as RCOs (Figura 33). Estas são colocadas nos novos veículos no momento em que são desmoldadas, e nela permanecem até à sua colocação na pá. Devido à maior capacidade, estes novos suportes podem abastecer quatro pás antes de serem novamente abastecidos, reduzindo assim as deslocações associadas.

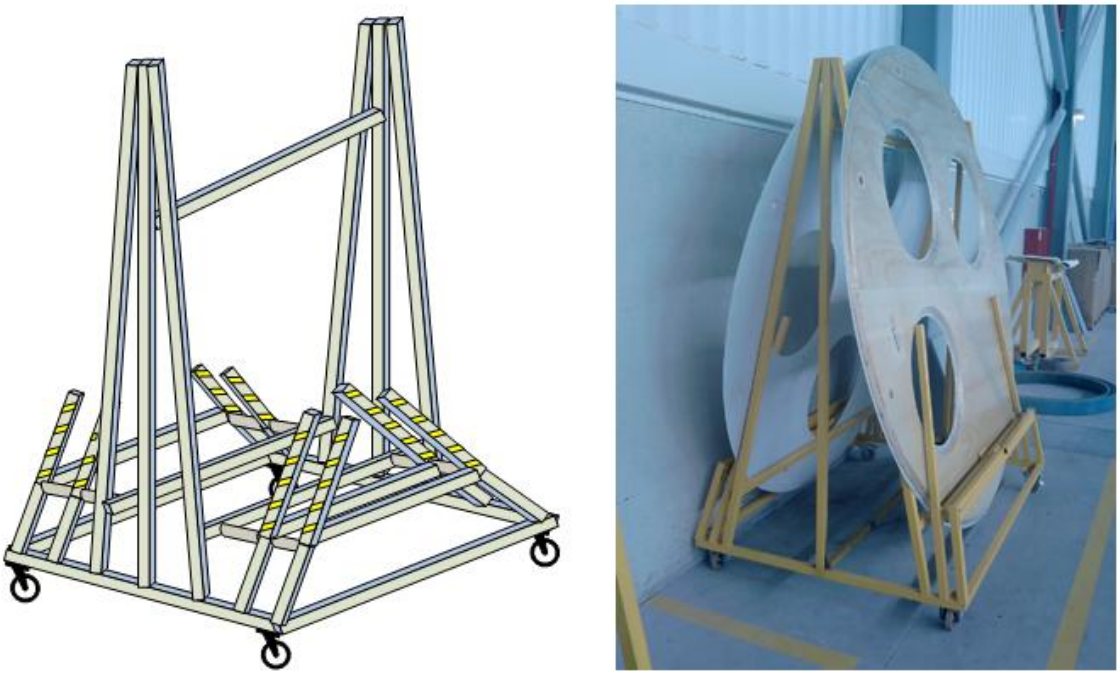

Figura 33 – Carro de *stock* e abastecimento de RCOs

III.4.4 – VSM futuro

Depois de analisado o *Value Stream Map* do estado atual e identificadas as medidas a implementar, é elaborado o VSM do estado futuro. Este mapa permite verificar o impacto dessas medidas e o resultado das melhorias nos processos.

Os valores do *Takt Time* foram calculados com base no plano de produção para Outubro de 2012 de 81 pás. Esses valores são apresentados na Tabela 3.

	1º Turno (h)	Pausa 1º Turno (h)	2º Turno (h)	Pausa 2º Turno (h)	3º Turno (h)	Pausa 3º Turno (h)	Nº Dias Trabalho p\ Mês	Nº *Sets*	Nº Pás p\ *Set*	TAKT TIME
Corte Fibra	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Root Joint PS (Corte Fibra)	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Root Joint SS (Layup)	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	24	27	3	**4,6**
Root Joint PS (Layup)	8,5	0,75	8,5	0,75	0	0	24	27	3	**4,6**
Root Joint SS (Cura)	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Root Joint PS (Cura)	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Root Joint SS (Corte)	8,5	0,75	0	0	8	0,58	24	27	3	**4,5**
Root Joint PS (Corte)	8,5	0,75	0	0	8	0,58	24	27	3	**4,5**
Web HK	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Web VK	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Girder PS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Girder SS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
End Web	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
RCO	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Main Shell SS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Main Shell PS	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Posição 1	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Posição 2	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Posição 3	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Posição 4	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Balança	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**
Packing	8,5	0,75	8,5	0,75	8	0,58	24	27	3	**6,8**

Tabela 3 – Valores do *takt time* no estado futuro do VSM

Como pode ser verificado na Tabela 3, o plano de produção para o mês de Outubro define a produção de 27 *sets* ou 81 pás, enquanto que em Março os volumes a atingir ficavam-se pelos 12 *sets*, equivalentes a 36 pás. Isto reflete-se numa descida dos valores do *takt time*. O novo ritmo de saída para *stock* de pás eólicas necessário para responder ao pedido do cliente situa-se agora nas 6,8 horas. Isto representa uma diminuição para menos de metade no valor de Março, que era de 14 horas.

Torna-se evidente a necessidade desta descida do *takt time* ser acompanhada de uma redução nos tempos de ciclo. À semelhança do que aconteceu no VSM do estado atual, os tempos de ciclo dos processos de produção dos *pre-fabs* e das Main-Shells correspondem aos valores dos tempos objetivo, observados nos Quadros de Seguimento de cada um desses componentes. Para determinar os tempos de ciclo dos processos seguintes, nomeadamente os realizados nas Posições 1, 2, 3, 4, pesagem e *packin,* foi escolhida uma amostra relativa a uma semana de produção com tempo médio de 7 dias, 3 horas e 33 minutos, desde o início da produção nas Main Shells até à movimentação da pá acabada para *stock* (Figura 34).

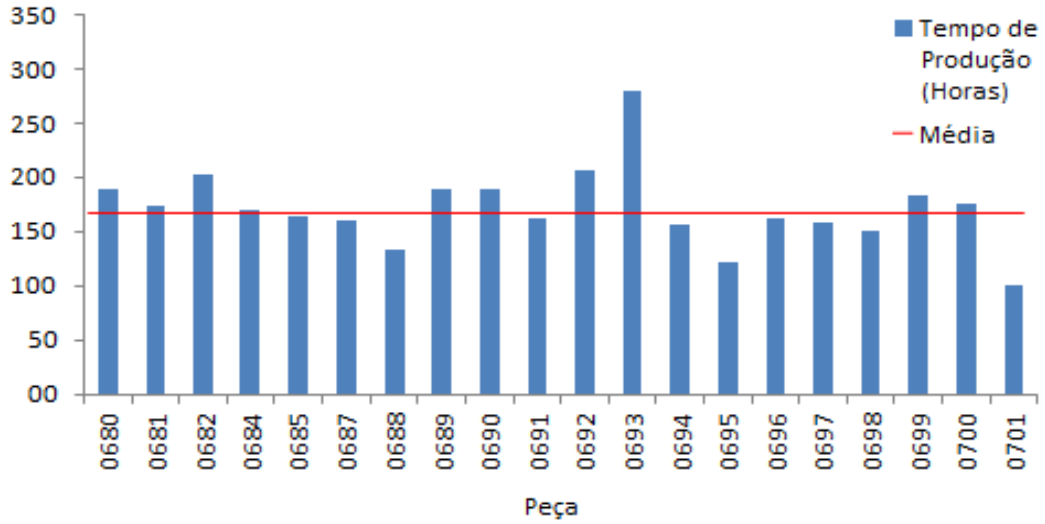

Figura 34 – Tempos de Produção

Os tempos de ciclo do estado futuro do VSM são apresentados na Tabela 4.

	Tempo de ciclo	Nº Moldes	Intervalo de Cedência de Peça
Corte Fibra de Vidro	22	6	3,7
Corte Fibra Pre-Preg	12	3	4
Root Joint SS (Layup)	7,5	1,5	5
Root Joint PS (Layup)	7,5	1,5	5
Root Joint SS (Cura)	10	2	5
Root Joint PS (Cura)	10	2	5
Root Joint SS (Corte)	2	1	2
Root Joint PS (Corte)	2	1	2
Web HK	7,5	2	3,8
Web VK	7,8	2	3,9
Girder PS	14	3	4,7
Girder SS	14	3	4,7
End Web	9,5	2	4,8
RCO	5,3	1	5,3
Main Shell SS	23	4	5,8
Main Shell PS	11,8	4	3
Posição 1	16	4	4
Posição 2	16,5	4	4,1
Posição 3	13,5	4	3,4
Posição 4	15,5	4	3,9
Balança	9,3	1	9,3
Packing	4,1	1	4,1

Tabela 4 - Valores do tempo de ciclo no estado futuro do VSM

Através da análise da Tabela 4 verifica-se uma redução de grande parte dos tempos de ciclo dos processos, que se deve a melhorias no processo, assim como a sua estabilização. A produção nos moldes das Main Shells estabilizou nas 23 horas, conseguindo-se uma redução média de 10 horas até ao desmolde da peça. Nas posições 1, 2, 3 e 4 dos acabamentos, os tempos de ciclo dos processos também diminuíram substancialmente. Alinhado com esta tendência, a aquisição de moldes permitiu diminuir os intervalos de cedência das peças.

Na Figura 35 está representado o mapa futuro da cadeia de valor, onde estão refletidas as alterações efetuadas no mapa inicial.

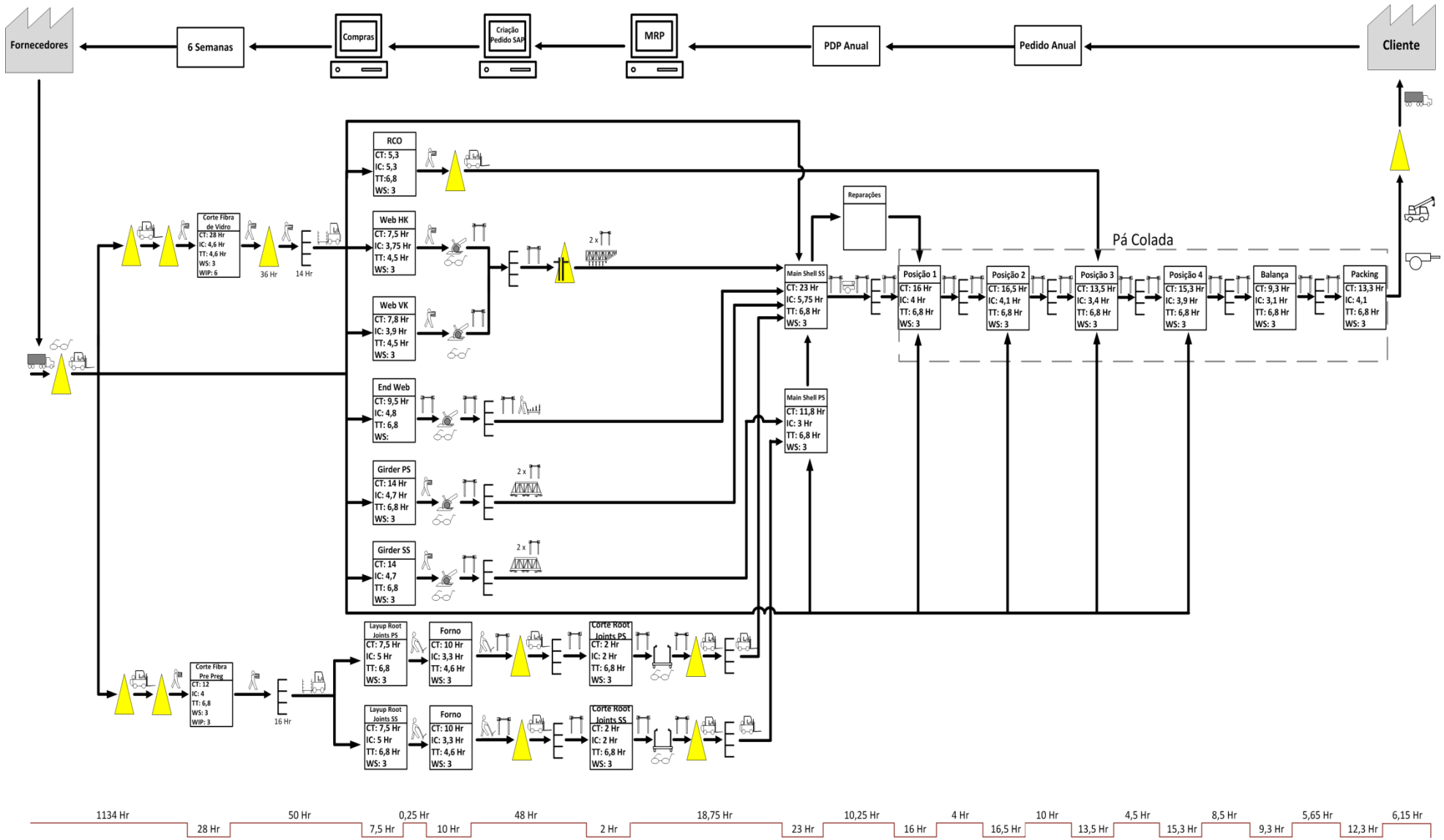

Figura 35 – VSM estado futuro

O lead time no estado futuro situa-se nas 1453 horas, o que significa que houve uma diminuição comparativamente ao valor do lead time do estado inicial. Mais uma vez é o *stock* de matéria-prima que mais contribui para o lead time total. Ainda assim, o stock de fibra pre-preg é suficiente para 79 dias de produção. Na Tabela 5 é feita a comparação entre os valores do lead time dos cenários inicial e futuro, expressos em horas.

	Cenário Inicial	Cenário Futuro	% Melhoria
Tempo de Processamento	258	153	59 %
Desperdício	2780	1300	47 %
Lead Time Total	3038	1453	48 %
Tempo de Processamento (%)	8,5%	10,5%	
Desperdício (%)	91,5%	89,5%	

Tabela 5 – *Lead time* cenário atual e cenário futuro

Os dados relativos ao estado futuro revelam uma melhoria de aproximadamente 50% em relação ao estado inicial para os valores dos tempos de lead time e comparando os dois cenários, verifica-se uma redução do desperdício de 91,5% para 89,5%. No VSM é também visível uma diminuição da utilização de equipamentos utilizados, nomeadamente pontes rolantes, Girder Lifter e porta paletes.

Neste cenário não foi possível avaliar o impacto de algumas medidas propostas, como a criação de uma zona de reparações e a transferência da produção de Root Joints para um edifício independente. A implementação destas iria previsivelmente reduzir não só o *lead time* como também a ocupação de equipamentos e recursos.

Conclusões

Neste projeto é aplicada a ferramenta *Value Stream Mapping* com o objetivo de obter melhorias no processo de produção de pás eólicas na empresa Riablades.

A utilização do VSM revelou-se eficaz no mapeamento do fluxo de informação e materiais que estão ligados à produção de pás eólicas, identificando as fontes de desperdício e revelando o seu impacto no *lead time* total. Foi depois possível desenvolver um novo mapa que apresentasse soluções para os problemas encontrados através da aplicação de filosofias *lean* e melhorias nos processos produtivos.

Foi evidente a limitação temporal da análise do VSM que fornece apenas uma imagem estática do fluxo de valor de uma pá. Esta "fotografia" é única para cada peça produzida, o que torna crucial a escolha de uma boa amostra.

A recolha de dados foi dificultada pelo elevado tempo dos processos produtivos e pela falta do registo dos tempos relativos a alguns desses processos e aos intervalos de espera. Para resolver este problema está a ser implementado um sistema de registo informático de todas as tarefas executadas que irá permitir o seguimento de cada peça. Esses dados poderão ser depois incorporados no VSM de modo a obter o cálculo do *lead time.*

A produção da nova pá RE51 vem tornar ainda mais importante a redução de desperdícios e o aumento da eficiência na afetação dos recursos. Para isso é essencial um bom planeamento da produção e organização da informação disponível. O VSM desenvolvido para a pá RE45 pode funcionar como ponto de partida para a criação de um fluxo que tire partido das lições aprendidas e as aplique neste novo produto.

Análises futuras terão que ser efetuadas de modo a acompanhar a evolução do processo produtivo e identificar novas oportunidades de melhoria.

Bibliografia

Crosby, P. (1979). *Quality is free: the art of making quality certain.* New York: New American Library.

Deming, W. E. (1986). *Out Of The Crisis.*

Deming, W. E. (1994). *The New Economics.*

Droge, C., & Germain, R. (1998). *The Context, Organizational Design, and Performance of JIT Buying Versus Non-JIT Buying Firms, International Journal of Purchasing and Materials Management.*

EPA. (2011, 11 10). *Lean Manufacturing and Environment*. Acedido a 23 de Agosto de 2012, http://www.epa.gov/lean/environment/methods/cellular.htm

Feigenbaum, A. V. (1951). *Quality Control.*

Feld, W. (2000). *Lean Manufacturing: Tools, Techniques and How to Use Them. St. Lucie Press.* , London.

Goldratt, E. a. (1993). *The Goal, 2nd edition .* Aldershot, UK: Gower Publishing.

Greenberg, D. (2002). *"Just-In-Time Inventory System Proves Vulnerable to Labor Strife." Los Angeles Business Journal.*

Herzberg, F. (1968). *One more time: how do you motivate employees?, Harvard Business Review, vol. 46.*

Hirano, H. (1995). *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation.*

Imaoka, Z. (2008). *Understand Supply Chain Management through 100 words.* Kougyouchousakai.

Juran, J. M. (1986). *"The Quality Trilogy." Quality Progress.*

Juran, J. M. (1951). *Quality Control Handbook.*

Khaswala, Z.A, Irani, S.A . (2001). *Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multi Flows in Value Stream Maps." Proceeding Lean Management Solutions Conference".* St. Louis.

LERC. (2004). *Lean Enterprise Research Centre, Cardiff Business School, www.cf.ac.uk/carbs/lom/lerc.*

Lummus, R. R., Vokurka, R. J., & Rodeghiero, B. (2006). *Improving Quality through Value Stream Mapping: A Case Study of a Physician's Clinic, Total Quality Management & Business Excellence.*

Melton, T. (2005). *The Benefits of Lean Manufacturing, What Lean Thinking has to Offer the Process Industries.*

Monden. (1998). *Toyota Production System, An Integrated Approach to Just-In-Time.*

Morin, P. (2012, 01, 26). *The Importance Of Differentiation And Adding Value.* Acedido a 25 de Agosto de 2012, from Company Founder - Knowledge and Transformation for Entrepreneurs: http://www.companyfounder.com/2012/01/the-importance-of-differentiation-and-adding-value/

Nahmias, S. (2001). *Production and Operations Analysis. 4th Edn.* New York: McGraw Hill.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* Productivity Press.

ReVelle, J. B. (2004). *Quality Essentials: A Reference Guide from A to Z.* ASQ Quality Press.

Ridpath, M. (2008, 02 20). *Lean, Mean Business Machine.* Acedido a 15 de Setembro de 2012, http://ezinearticles.com/?Lean,-Mean-Business-Machine&id=990225

Rodrigues, M. J. (2012). *Implementações de práticas Lean numa linha de produção electrónica. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.* Porto.

Rother, M. &. (1999). *Learning to See, "Lean Enterprise Institute".* Brookline.

Sakurai, M. (1997). *Gerenciamento Integrado De Custos.* Atlas.

Seth, D., Seth, N., & Goel, D. (2008). *"Application of value stream mapping (VSM) for minimization of wastes in the processing side of supply chain of cottonseed oil industry in Indian context", Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 19, p 529-550.*

Shewhart, W. A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product.*

Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System.* Cambridge: Productivity Press.

Taguchi, G. (1993). *Taguchi Methods: Research and Development.* Seiso Konishi.

Thomas, A. (2008). *"Business Process Change", Student Accountant, p66.*

Tutor2u. Acedido a 24 de Agosto de 2012, http://www.tutor2u.net/business/production/just-in-time.html

Vokurka, R. J., Lummus, R. R., & Rodeghiero, B. (2006). *Improving Quality through Value Stream Mapping: A Case Study of a Physician's Clinic,* Total Quality Management & Business Excellence, 17:8, p1063-1075.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking.* Free Press.

Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking.* Simon & Schuster, Inc.

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world.* New York: Rawson Associates.

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production .* New York, USA: HarperCollins.

Wysocki, B. (2004). *Industrial strength: to fix health care, hospitals take tips from factory floor; adopting Toyota techniques can cut costs, wait times; ferreting out an infection; what Paul O'Neill's been up to, Wall Street Journal.*