



AUMENTO DE PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA VSM

FRANCISCO MARIA ABREU LIMA CERQUINHO DA FONSECA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2018

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

“Não basta adquirir sabedoria; é preciso, além disso, saber utilizá-la.”

Marcus Cícero

AGRADECIMENTOS

Após término da elaboração da dissertação, este segmento serve para agradecer a todas as pessoas que foram importantes ao longo do meu percurso acadêmico.

Por isso agradeço...

Ao meu orientador, Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro, pela disponibilidade demonstrada ao longo da elaboração desta dissertação, bem como, a partilha do seu vasto conhecimento na área da Engenharia Civil.

Aos meus colegas de faculdade com quem partilhei a minha vida académica.

Aos meus pais, pelo apoio e paciência ao longo do meu percurso académico e por terem um papel crucial no meu desenvolvimento e formação como pessoa.

Aos meus irmãos pela motivação.

À minha namorada pelo apoio incondicional em todos os momentos.

RESUMO

A Indústria da Construção Civil é um dos principais setores em todo o mundo, porém, quando comparada com outras indústrias a sua produtividade fica muito aquém. De acordo com Baganha et al. [2] a produtividade da construção nacional é 30% inferior à produtividade total no país. Numa altura em que se verifica uma carência de mão de obra especializada no setor, surge a necessidade de fazer aumentar a produtividade através de outros métodos.

Teicholz [1], com base em valores registados nos EUA nos últimos 40 anos, demonstra que a produtividade no setor da construção tem sofrido variações pouco significativas, em igual período, a produtividade nos restantes setores da indústria mais do que duplicou. Ao longo deste período, a construção procurou seguir as tendências industriais relativas ao aumento de eficiência, controlo e qualidade. Como tal surgiram no setor conceitos e metodologias provenientes da produção *Lean*, após a verificação dos seus bons resultados em indústrias de produtos manufaturados, estabelecendo assim um novo campo de investigação, o *Lean* na Construção.

É neste contexto que a presente dissertação se insere, explorar uma ferramenta apoiada em filosofias *Lean* e, com as devidas adaptações, implementá-la num processo construtivo com o principal objetivo de lhe conferir um aumento de produtividade em toda a sua conjuntura. Através do mapeamento do fluxo de valor (VSM) foi possível identificar falhas e oportunidades de melhoria numa tarefa no âmbito da reabilitação e propor a implementação de medidas que respondam aos problemas identificados.

PALAVRAS-CHAVES: PRODUTIVIDADE, *LEAN* NA CONSTRUÇÃO, MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR

ABSTRACT

The Construction Industry is one of the leading industries worldwide, but when compared to other industries their productivity falls far short. According to Baganha et al. (2002), the productivity of national construction is 30% lower than the total productivity in the country. At a time when there is a shortage of specialized labor in the sector, there is a need to increase productivity through other methods.

Teicholz (2004), based on values recorded in the US in the last 40 years, shows that productivity in the construction sector has undergone little variation, in the same period, productivity in other sectors of the industry has more than doubled. Throughout this period, construction has sought to follow industrial trends related to increased efficiency, control and quality. As such, concepts and methodologies arising from Lean production have emerged in the sector, after having verified its good results in the manufacturing industries, thus establishing a new field of research, the Lean Construction.

This is the context that the present dissertation is inserted, to explore a tool supported in Lean philosophies and, with the appropriate adaptations, to implement it in a constructive process with the main objective of giving it an increase of productivity in all its conjuncture. Through the value stream mapping (VSM) it was possible to identify failures and opportunities for improvement in a rehabilitation task and propose the implementation of measures that respond to the problems identified.

KEYWORDS: Productivity, LEAN CONSTRUCTION, VALUE STREAM MAPPING

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|------------|
| AGRADECIMENTOS | I |
| RESUMO | III |
| ABSTRACT | V |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. ENQUADRAMENTO | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 1 |
| 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO | 2 |
| | |
| 2 PRODUTIVIDADE..... | 3 |
| 2.1. INTRODUÇÃO..... | 3 |
| 2.2. COMO MEDIR PRODUTIVIDADE | 4 |
| 2.2.1. TIPOS DE PRODUTIVIDADE | 4 |
| 2.2.1.1. Produtividade Física | 4 |
| 2.2.1.2. Produtividade Bruta | 4 |
| 2.2.1.3. Produtividade do Conhecimento | 5 |
| 2.3. PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO | 5 |
| 2.3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE | 6 |
| 2.3.1.1. Fatores de Planeamento | 6 |
| 2.3.1.2. Fatores Humanos | 8 |
| 2.3.1.3. Fatores Externos | 10 |
| | |
| 3 LEVANTAMENTO TEÓRICO | 11 |
| 3.1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 3.2. METODOLOGIA <i>LEAN</i> | 11 |
| 3.2.1. JUST IN TIME (JIT) | 12 |
| 3.2.2. <i>LEAN</i> NA CONSTRUÇÃO | 12 |
| 3.2.2.1. Princípios <i>Lean</i> na Construção | 13 |
| 3.3. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR– VSM (“VALUE STREAM MAPPING”) | 15 |
| 3.3.1. BENEFÍCIOS DO VSM | 16 |
| 3.3.2. IMPLEMENTAÇÃO DO VSM | 18 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 3.3.3. | Símbolos do VSM..... | 19 |
| 3.4. | CONSTRUÇÃO COMO FLUXO | 21 |
| 4 | MODELO | 23 |
| 4.1. | INTRODUÇÃO..... | 23 |
| 4.2. | OBJETIVOS DO MODELO | 23 |
| 4.3. | DESCRIÇÃO DO MODELO..... | 24 |
| 4.4. | CONSIDERAÇÕES DO MODELO | 26 |
| 4.4.1. | MEDIÇÕES NA CONSTRUÇÃO..... | 26 |
| 4.4.2. | PRELÚDIO DO MODELO..... | 26 |
| 4.5. | IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO..... | 28 |
| 4.5.1. | DESENVOLVIMENTO DAS MEDIDAS PRECONIZADAS..... | 28 |
| 5 | SIMULAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO | 31 |
| 5.1. | INTRODUÇÃO..... | 31 |
| 5.2. | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 31 |
| 5.2.1. | IDENTIFICAÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 31 |
| 5.2.2. | DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO | 33 |
| 5.3. | SIMULAÇÃO E APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS PROPOSTAS | 34 |
| 5.3.1. | ELABORAÇÃO DO MAPA DO ESTADO DO FLUXO ATUAL | 34 |
| 5.3.2. | ANÁLISE AO MAPA DO ESTADO ATUAL | 37 |
| 5.3.3. | ELABORAÇÃO DO MAPA DO ESTADO DO FLUXO FUTURO..... | 38 |
| 5.3.3.1. | Propostas de Implementação | 39 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 45 |
| 6.1. | CONSIDERAÇÕES..... | 45 |
| 6.2. | CONCLUSÕES GERAIS | 45 |
| 6.3. | DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 46 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.2.1 – Conceito de produtividade segundo SINK [3]..... | 3 |
| Figura 3.1 – Ciclo dos princípios da Metodologia Lean | 12 |
| Figura 3.2 - Mapa do fluxo de valor genérico..... | 18 |
| Figura 4.1 - Percurso do modelo..... | 23 |
| Figura 4.2 - Benefícios do BIM para as construtoras (2009 e 2012). Adaptado de [26]..... | 28 |
| Figura 5.1 - Caminho crítico numa obra de reabilitação | 32 |
| Figura 5.2 - Mapa do fluxo de valor do caminho crítico (Nível Alto) | 32 |
| Figura 5.3 - Exemplo de um roço e instalação hidráulica numa parede de alvenaria (Adaptado de [42]) | 33 |
| Figura 5.4 - Mapa do Estado do Fluxo Atual..... | 36 |
| Figura 5.5 - Problemas típicos na construção, devido à falta de coordenação [37] | 37 |
| Figura 5.6 - Categorias de atrasos consideradas no inquérito elaborado por Couto [28] | 38 |
| Figura 5.7 - Troca de informação entre intervenientes no processo construtivo. Processo tradicional vs Recurso a tecnologia BIM | 39 |
| Figura 5.8 - Verificação de conflitos entre tubagens realizado pelo Navisworks [35]..... | 39 |
| Figura 5.9 - Geração automática de conexões [35] | 40 |
| Figura 5.10 – Exemplo de uma Ficha do procedimento de trabalho de uma tarefa..... | 41 |
| Figura 5.11 - Mapa do Estado do Fluxo Futuro | 43 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1 - Casos de estudo do VSM na construção | 16 |
| Tabela 3.2 - Tipos de desperdício identificados no VSM..... | 17 |
| Tabela 3.3 - Símbolos num mapa de fluxo de valor..... | 21 |
| Tabela 3.4 - Precondições de um bom fluxo na construção..... | 21 |
| Tabela 4.1 - Conceitos chave dos dados de recolha | 25 |
| Tabela 4.2 - Contrariedades na construção | 27 |
| Tabela 5.1 - Cálculo da duração de tarefas | 35 |

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

VSM – “*Value Stream Mapping*” – Mapeamento do Fluxo de Valor

PIB – Produto Interno Bruto

VAB - Valor Acrescentado Bruto

Φ – diâmetro

Kg – quilograma

EUA – Estados Unidos da América

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A construção é uma indústria muito dependente da força de trabalho “braçal”, tanto em quantidade como em qualidade. Segundo Baganha et al. (2001) [2] tradicionalmente esta força de trabalho é masculina, jovem, pouco qualificada e bastante rotativa. Esta rotatividade tem impacto na qualificação da mão de obra, que tende a ser bastante baixa, sendo que grande parte dos trabalhadores não tem quaisquer habilitações. É designada como “mão de obra barata” que contribui para a diminuição da qualidade e produtividade dos processos. Devem-se então encontrar soluções através de novas técnicas de gestão e planeamento que permitam produzir melhores resultados, nomeadamente no aumento de produtividade.

Diversos autores e investigadores da área da Construção, tendo visto os bons resultados conseguidos pelo setor fabril com a implementação da filosofia de gestão *Lean*, debruçaram-se sobre o assunto e estudaram a aplicação de metodologias e ferramentas deste tipo em processos construtivos. Embora as primeiras abordagens do *Lean* na Construção tenham surgido nos anos 90, a sua prática é ainda hoje pouco expressiva no setor.

Em razão disso, houve bastante interesse em estudar a aplicação de uma ferramenta desta natureza, e verificar as dissemelhanças e particularidades da Construção face a outros setores. A ferramenta analisada foi o VSM – Mapeamento do Fluxo de Valor.

1.2. OBJETIVOS

A presente dissertação insere-se no âmbito do ramo de especialização de Construções do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Tem como objetivo, testar a aplicação de uma metodologia *Lean* na construção, mais concretamente através do mapeamento do fluxo de valor de um processo construtivo. Pretende-se abordar os seguintes pontos:

- Caracterização de metodologias *Lean* na Indústria da Construção;
- Identificação das vantagens e desvantagens da aplicação da ferramenta abordada;
- Construção de um modelo aplicável à construção;

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é genericamente dividida em seis capítulos, com a seguinte descrição:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Enquadramento do tema, identificação do âmbito e objetivos a atingir.
- **Capítulo 2 – Produtividade:** Apresentação do conceito de produtividade, bem como os diferentes tipos. Contextualização de produtividade na construção e identificação dos fatores que influenciam a produtividade no setor, fatores de planeamento, fatores humanos e fatores externos.
- **Capítulo 3 – Levantamento teórico:** Enquadramento teórico da metodologia *Lean* e da sua aplicação na construção. São apresentados dados sobre a origem, conceitos e princípios compostos por diversos autores. É também explanado o conceito do mapeamento do fluxo de valor, assim como os seus benefícios e a sua implementação.
- **Capítulo 4 - Modelo:** Apresentação do modelo a aplicar, onde se expõem os seus objetivos e se faz sua descrição.
- **Capítulo 5 – Simulação da aplicação do modelo:** Descrição e simulação da aplicação do modelo.
- **Capítulo 6 – Conclusão:** Apresentação das conclusões tiradas e propostas de desenvolvimentos futuros.

2

PRODUTIVIDADE

2.1. INTRODUÇÃO

A produtividade é algo que está presente desde os primórdios da Humanidade. Embora o seu conceito, em si, tenha nascido no século XVIII através de alguns teóricos de Economia como Adam Smith e François Quesnay, o Homem intuitivamente sempre alcançou processos de aumento de produtividade.

A produtividade é uma peça chave no crescimento económico e competitividade e, como tal, é um indicador muitas vezes utilizado para comparações internacionais e desempenho dos países.

O conceito de produtividade não tem uma definição exata. No entanto, é geralmente definido como a relação entre os meios ou recursos utilizados e a produção final. Resulta da capacidade de produzir, de gerar um produto, também apelidado de *output*, associado à técnica e trabalho necessários para a sua realização – *input*.

Segundo SINK, produtividade é a relação entre os *output* gerados, e os *input* (recursos humanos, materiais e financeiros) utilizados para os gerar. [3]

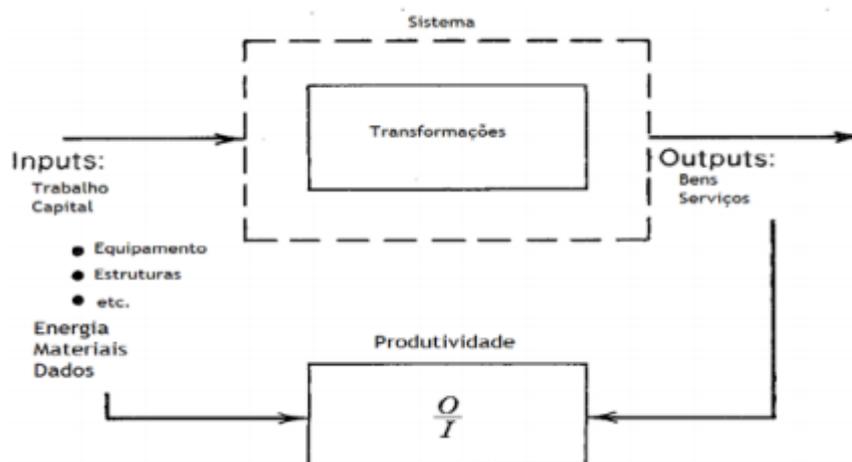


Figura 2.2.1 – Conceito de produtividade segundo SINK [3]

Na construção estes output são normalmente expressos por peso, comprimento, ou em volume, enquanto que os “input” são o custo de trabalho ou a quantidade de mão de obra.

2.2. COMO MEDIR PRODUTIVIDADE

Para se conseguir aumentar a produtividade, é preciso saber medi-la, e ser capaz de verificar os efeitos das mudanças adotadas. Os valores medidos são o ponto de partida que permite fazer uma análise rigorosa.

2.2.1. TIPOS DE PRODUTIVIDADE

Existem várias formas de medir a produtividade, que variam conforme as indústrias, sectores e atividades. Os fatores utilizados no numerador e no denominador para calcular a produtividade são alterados consoante o âmbito do cálculo.

Segundo Dinis Carvalho, Professor Associado no Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, a produtividade pode ser vista como Produtividade Física, Produtividade Bruta e Produtividade do Conhecimento.

2.2.1.1. Produtividade Física

A produtividade é uma medida para auferir a eficiência de uma ou de um conjunto de empresas. Pode ser entendida como o quociente entre o que a empresa produz (bens ou serviços) e o que ela consome para produzir esse produto. De acordo com Dinis Carvalho, a produtividade – P, é definida analiticamente como:

$$P = \frac{O}{R_1 + R_2 + \dots + R_r}$$

O - valor ou as unidades de produtos produzidos

R - recursos utilizados para conseguir essas unidades de produtos num determinado período de tempo, que podem ser: mão-de-obra, capital, energia, material e outros.

O recurso visto como o mais importante é, normalmente, a mão-de-obra, pelo que é forma mais comum de se medir a produtividade. Assim sendo, a produtividade em relação à mão-de-obra resulta na seguinte equação:

$$P = \frac{O}{R_1}$$

O - valor ou as unidades de produtos produzidos

R1 - unidades de mão-de-obra, por exemplo em “horas x homem”.

No entanto, este método tem o inconveniente de ser um indicador inerente a cada indústria, pelo que não pode ser utilizado para comparar diferentes sectores.

2.2.1.2. Produtividade Bruta

A produtividade global de um país não pode ser calculada como se faz para uma indústria. Por se tratarem de múltiplos produtos, que originam diversos bens e serviços, tem de se agrupar todos esses produtos, numa espécie de unidade agregada. É frequente usar-se o indicador “Produto Interno Bruto”

ou o “Valor Acrescentado Bruto” como forma de avaliar o produto. A produtividade da mão-de-obra de um país, num determinado ano, pode então ser medida das seguintes formas:

$$PB = \frac{PIB}{PE} \quad ; \quad PB = \frac{PIB}{HT}$$

PB – Produtividade Bruta

PIB – Produto Interno Bruto

PE – Número de pessoas empregadas

HT – Número de horas de trabalho

2.2.1.3. Produtividade do Conhecimento

A produtividade de conhecimento é um conceito de produtividade que reflete o peso do custo de mão-de-obra no Produto Interno Bruto. A produtividade de conhecimento quantifica o valor dos produtos produzidos em relação ao valor pago em salários (em Euros). Calcula-se da seguinte forma:

$$PC = \frac{PIB}{CMDO}$$

PC – Produtividade do Conhecimento

PIB – Produto Interno Bruto

CMDO – Custo da mão de obra

2.3. PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO

A construção é um setor onde a necessidade de cumprir prazos associados a metas financeiras preestabelecidas faz com que a questão da produtividade seja uma constante. Nesta indústria a produtividade pode ser definida como sendo a quantidade de trabalho realizado num determinado tempo (em horas ou minutos por exemplo), atendendo à relação entre recursos utilizados e obtidos.

Para definir uma estratégia competitiva e sustentável, uma empresa deve identificar as variáveis que garantam maior benefício ao objetivo estratégico da empresa. Essas variáveis são os fatores chave de sucesso, pelo que devem ser medidas e otimizadas, estabelecendo-se como os indicadores de gestão da empresa.

A ponderação da produtividade na área da construção é complexa, visto que a particularidade de cada projeto e a multiplicidade de métodos faz com que a informação recolhida não faça uma representação clarividente da indústria. No entanto, o controle operacional deve ser feito, representando-se como uma referência elementar para práticas corretivas.

A avaliação de indicadores de produtividade e consequente melhoria contribuem para o sucesso da organização e servem de orientação aos métodos de gestão para alcançar uma vantagem competitiva.

2.3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE

Na construção existem diversos fatores que influenciam a produtividade, que podem ser apontados como responsáveis de uma baixa produtividade dos processos. No presente documento esses fatores foram divididos em três áreas: planeamento, fatores humanos e fatores externos.

2.3.1.1. Fatores de Planeamento

O planeamento de obras de construção civil constitui-se na atividade designada por preparação e controlo de obras. Problemas de cariz estratégico e funcional são os principais causadores das oscilações de produtividade. Problemas como, organização defeituosa, fraco planeamento de obra, gestão indevida de pessoal, entre outros, são algumas das causas mais comuns da existência de baixa produtividade. Estes podem-se dissecar em:

- **Excesso de carga horária**

O agendamento de trabalho que exceda o horário padrão de 8 horas de trabalho diário ou 40 horas de trabalho semanal, estabelecido pela lei laboral portuguesa, poderá levar a fadiga física e mental, e conseqüente desmotivação dos trabalhadores.

- **Sobreposição de tarefas**

A sobreposição de tarefas, é um problema que acontece quando diferentes tarefas, que deviam ocorrer sequencialmente, são impostas a ser executadas simultaneamente num espaço de trabalho limitado. Dai resulta congestionamento de pessoal num determinado espaço, levando a uma inadequada localização e utilização das ferramentas de trabalho, aumento dos riscos de segurança e otimização das equipas comprometida.

- **Mobilização/Desmobilização**

A mobilização de recursos, materiais e equipamentos, devido a mudanças no projeto ou atrasos, causa paragens inconvenientes. A produtividade poderá cair durante estes períodos, dado o tempo que é perdido para providenciar tais mobilizações.

- **Composição inadequada das equipas**

A remoção ou adição de trabalhadores numa equipa de trabalho poderá comprometer a otimização da mesma. Quando estas alterações acontecem, a dinâmica e ritmo da equipa são perturbadas, ocorrendo uma diminuição de produtividade.

O tamanho ideal de uma equipa encontra-se no equilíbrio entre um nível aceitável de progresso e a maior produtividade possível.

O excesso de trabalhadores numa equipa, por exemplo, compromete a supervisão, retarda a entrega de materiais e, em geral, afeta a moral dos trabalhadores.

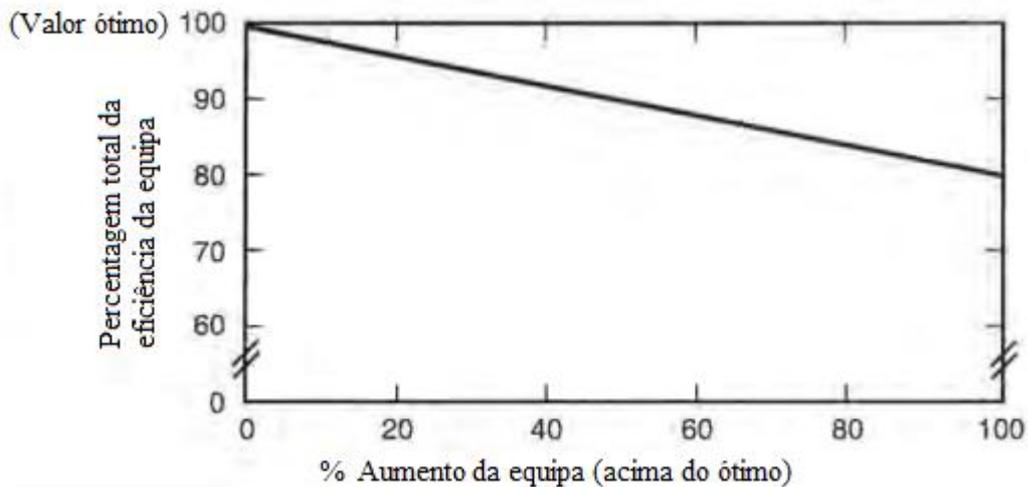


Figura 2.2 - Efeito do número excessivo de trabalhadores numa equipa [6]

A produtividade vai variar proporcionalmente, com a remoção ou adição de trabalhadores em relação ao tamanho ótimo da equipa.

- **Logística**

Material insuficiente, manuseio impróprio, práticas inadequadas de aquisição ou falta de controlo são contrariedades que podem surgir aquando a aquisição ou entrega dos materiais. Estas contrariedades, atrasam ou interrompem o normal funcionamento duma determinada área de trabalho, armazém ou depósito de materiais. Que também pode acontecer devido a alterações contratuais.

- **Trabalho por turnos**

A implementação de múltiplos turnos é uma forma de adicionar trabalhadores a uma área de trabalho. Turnos duplos ou até triplos, pode ser um método mais económico de realizar mais trabalho num determinado período, no entanto também pode dar origem a uma situação caótica, dependendo do tipo de trabalho. Ofícios que exigem alta precisão poderão inclusivamente, ser melhor executados em turnos singulares do que em múltiplos turnos, por outro lado os trabalhos “pesados” são executados com maior eficiência em múltiplos turnos.

Pessoas que trabalham por turnos acarretam adversidades como mudanças nas horas de comer, dormir e nas dinâmicas de trabalho. O corpo humano necessita cerca de um mês para se ambientar a um novo horário.

- **Folgas e rotatividade**

Uma fatia significativa de perda de tempo e dinheiro na construção tem que ver com as desmesuradas folgas e a rotatividade. Esta problemática tem especial relevo em zonas com pouca mão-de-obra e elevada procura da mesma. Condições climáticas extremas, como locais de muito calor ou frio, poderão fomentar as faltas e rotatividade. Os trabalhadores de substituição não estão acostumados com o trabalho a desempenhar, nem tão pouco com a área de trabalho, e necessitam do acompanhamento de trabalhadores mais experientes que prejudicarão a sua própria função na obra. Estima-se que esta problemática terá um impacto até 4 dias de trabalho perdido por trabalhador

Lista das razões (por ordem de importância):

Para as faltas:

1. Doença própria ou de familiares;
2. Gestão de pessoal defeituosa;
3. Supervisão defeituosa;
4. Local da obra muito distante;
5. Excessivo trabalho repetido;
6. Condições de trabalho inadequadas.

Para as faltas:

1. Equipamentos e materiais inadequados;
2. Planeamento defeituoso
3. Gestão de pessoal defeituosa;
4. Supervisão defeituosa;
5. Existência de outros trabalhos;
6. Relação precária com os superiores.

- **Para/Arranca**

Resulta numa paralisação ou suspensão de trabalho. Estas paragens ocorrem quando um elemento essencial para a execução de uma determinada tarefa não está disponível. Esse elemento pode ser um desenho, uma decisão, a acessibilidade dos trabalhadores ou material e equipamento pré-adquiridos. Quebras de ritmos, “perda” de tempo para tomar decisões, orientação e obtenção dos recursos necessários são todos eles fatores contraproducentes. Por vezes, estas quebras, representam uma perda de produtividade de 30 a 40%.

2.3.1.2. Fatores Humanos

A mão de obra tem um papel determinante na construção. Condicionantes que perturbem a sua forma de atuar acabam por se repercutir na produtividade.

- **Motivação**

O aparecimento de conflitos, disputas, sobrecarga de trabalho, recorrentes mudanças de contratos, interrupções de tarefas, condições de trabalho inadequadas, entre outras, poderão perturbar a confiança, disciplina, esforço e motivação dos trabalhadores.

Estudos sociológicos defendem que o comportamento do ser humano é orientado pelas suas expectativas e suportado pela obtenção de recompensas.

- **Processo de aprendizagem – *Learning Curve***

A primeira vez que um trabalhador realizar uma determinada tarefa, vai executá-la lentamente, uma vez que ainda está a “perceber” de como o irá fazer. Necessita de um período de orientação/adaptação para que se habitue às novas circunstâncias. O tempo de execução da tarefa vai diminuindo à medida que o trabalhador a vai repetindo.

É preferível que um trabalhador execute a mesma tarefa sistematicamente do que haja constantes mudanças na realização dessa função.

Após um número considerável de repetições, a “curva de aprendizagem” (Figura 2.3) aproxima-se dum patamar que reflete o mínimo tempo necessário para executar uma tarefa.

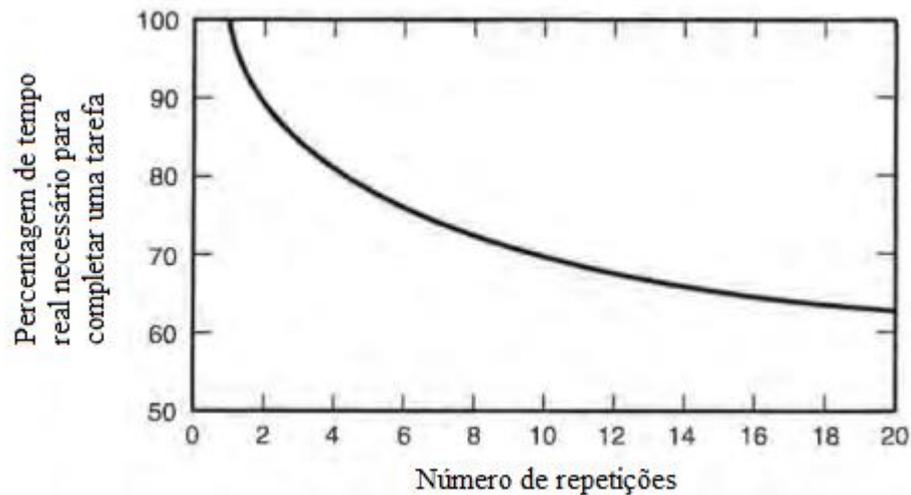


Figura 2.3 – Curva de aprendizagem [6]

Por outro lado, se houver paragens entre as repetições poderá revelar-se um efeito de “desaprendizagem” já que o trabalhador acaba por perder a prática e deixa de executar tão bem a tarefa. Haverá então um período em que o trabalhador terá de reaprender a executar da tarefa.

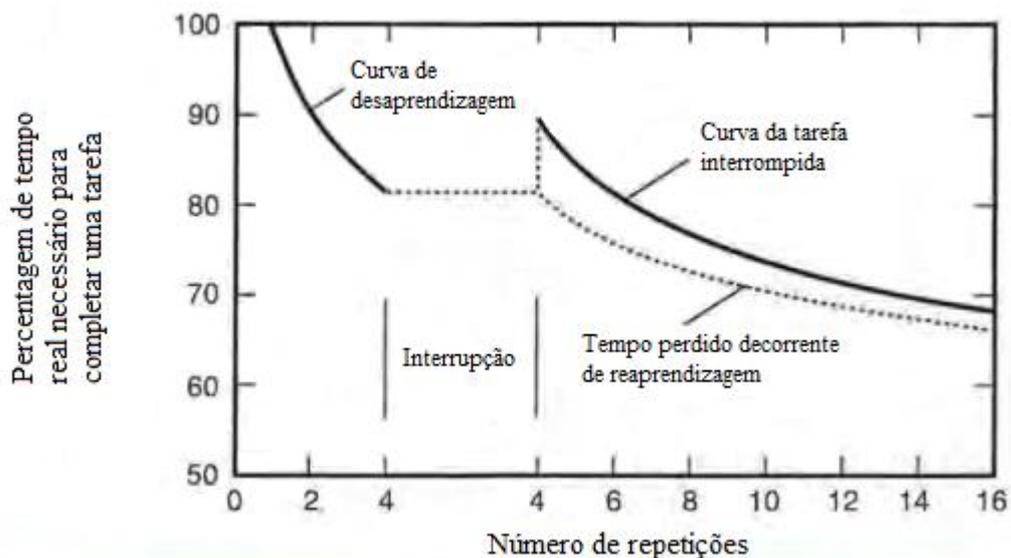


Figura 2.4 – Curva de “desaprendizagem” [6]

- **Fadiga Física**

Esforço físico prolongado ou indevido causa fadiga física, que evidentemente perturba a produtividade.

- **Erros e Omissões**

O aparecimento de erros e omissões repercutem-se na produtividade, uma vez que alterações, que não fazem parte da rotina de trabalho, originam por vezes uma supervisão defeituosa e outros tipos de impactos negativos.

2.3.1.3. Fatores Externos

- **Espaços inseguros**

Espaços inseguros, em que são necessárias medidas de segurança específicas, como equipamento e roupas especiais, limitam o tempo e exposição dos trabalhadores nessas zonas, resultando frequentemente numa menor produtividade.

- **Clima**

Os trabalhadores devem ambientar-se a trabalhar em condições climatéricas adversas paulatinamente. A prostração, em ambientes quentes, ocorre a temperaturas que rondam os 48°C com uma humidade relativa à volta dos 10% e 30°C com uma humidade relativa de 100%. Acima destas condições poderão ocorrer lesões como queimaduras solares, câibras, insolação e exaustão. Podem ser prevenidas caso haja uma ambientação adequada às condições climatéricas, resultante de períodos de descanso, roupas apropriadas e hidratação.

Por outro lado, os efeitos nocivos resultantes de ambientes frios podem ser precavidos através de roupa adequada e da existência de abrigos temporários perto das zonas de ação. A temperatura limite ronda os 5°C, a esta temperatura a produtividade em espaços interiores não é afetada significativamente.

| R.H. | Temperatura (°C) | | | | | | | | | | | | |
|------|------------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| | -23 | -18 | -12 | -7 | -1 | 4 | 10 | 16 | 21 | 27 | 32 | 38 | 43 |
| 90 | 56 | 71 | 82 | 89 | 93 | 96 | 98 | 98 | 96 | 93 | 84 | 57 | 0 |
| 80 | 57 | 73 | 84 | 91 | 95 | 98 | 100 | 100 | 98 | 95 | 87 | 68 | 15 |
| 70 | 59 | 75 | 86 | 93 | 97 | 99 | 100 | 100 | 99 | 97 | 90 | 76 | 50 |
| 60 | 60 | 76 | 87 | 94 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 93 | 80 | 57 |
| 50 | 61 | 77 | 88 | 94 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 94 | 82 | 60 |
| 40 | 62 | 78 | 88 | 94 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 94 | 84 | 63 |
| 30 | 62 | 78 | 88 | 94 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 93 | 83 | 62 |
| 20 | 62 | 78 | 88 | 94 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 93 | 82 | 61 |

Figura 2.5 - Relação da temperatura e humidade relativa com a produtividade [6]

A Figura 2.5 mostra a relação da temperatura e da humidade relativa com a produtividade. Esta tabela mostra uma previsão dos impactos do clima na produtividade. Esta informação deverá ser tomada em conta no planeamento e preparação da obra.

3

LEVANTAMENTO TEÓRICO

3.1. INTRODUÇÃO

Há décadas que o sector da construção é atraído pela ideia de construção apoiada em manufatura, o que levou a uma melhoria significativa de produtividade no século passado. Esta “industrialização” visa minimizar as atividades de construção em obra, transformando edifícios em produtos que possam ser fabricados em ambientes fabris.

Este tipo de abordagem teve um forte impacto por volta dos anos 60, com a evolução de um processo de construção assente em três princípios: standardização, pré-fabricação e coordenação dimensional. A pré-fabricação a uma larga escala levou a que uma parte substancial dos elementos construtivos passassem a ser manufaturados. Como resultado, num curto espaço de anos, a produtividade na Indústria da Construção aumentou, nomeadamente na Europa. No entanto, quando aumentou o poder de compra, na década de 70, o mercado solicitou a individualidade, e o sector de uma maneira geral, voltou ao que era.

O modelo de industrialização voltou a ganhar força na Indústria da Construção no princípio dos anos 90, quando o sistema de produção *Lean* se tornou no novo paradigma da manufatura.

3.2. METODOLOGIA *LEAN*

Na Língua Inglesa, o termo *Lean* tem um significado inequívoco: magro, sem desperdício, sem excesso. Foi neste sentido que surgiu a metodologia *Lean*. Consiste na análise dos processos de uma empresa, com a finalidade de eliminar qualquer desperdício identificado em recursos, materiais, tempo, espaço, etc. Qualquer movimentação de recursos que não tenham o desígnio de gerar valor na cadeia de produção é, segundo a filosofia *Lean*, considerado um desperdício.

As metodologias que aumentam a produtividade e melhoram os processos produtivos, como o *Lean*, são cada vez mais exploradas. James P. Womack e Daniel T. Jones (1996) [39] compilaram uma lista com cinco princípios:

- **Identificar Valor:** valor é quanto o cliente está disposto a pagar pelo seu produto acabado. Deve-se ter presente as necessidades do cliente e procurar satisfazê-lo. O valor é criado pelo produtor, mas deve ser definido pelo cliente final.
- **Mapear a cadeia de valor:** sequência de ações que constituem o processo produtivo e que agregam valor para o cliente. Este mapeamento tem a finalidade de melhorar os processos e manter o fluxo contínuo das diferentes atividades e ainda que possibilite identificar os desperdícios existentes.
- **Criar o fluxo de valor:** o produto deve fluir continuamente pelos processos de forma simplificada e otimizada, para que haja um equilíbrio em todas as fases de produção. O objetivo é desenvolver produtos ou serviços ao ritmo a que são pedidos pelo cliente, que introduz o conceito de “Puxar”.
- **Conceito “Puxar”:** num sistema de produção “Puxar” apenas se produz aquilo que é requisitado. Coordenar a produção com a demanda real, permite obter uma cadeia de produção fluída, minimizando desperdícios. Alcançam-se melhores tempos de entrega e otimizam-se os processos, por conseguinte, atinge-se uma maior satisfação do cliente.
- **Procura da perfeição:** Completar os quatro princípios anteriores é *per se* um progresso, porventura este último princípio é o mais importante. O ciclo fecha-se e inicia uma procura de perfeição, onde se pretende criar o valor ideal, sem desperdícios. Nesta fase apenas as atividades que acrescentam valor estão presentes nos processos.

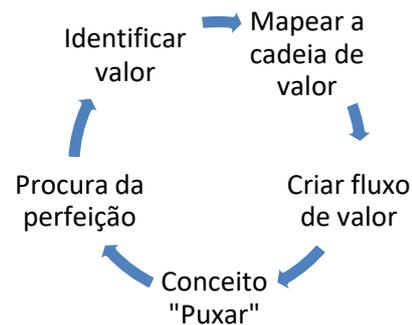


Figura 3.1 – Ciclo dos princípios da Metodologia Lean

3.2.1. JUST IN TIME (JIT)

Just in time é uma filosofia de produção na área da Engenharia Industrial desenvolvida pela marca de automóveis Toyota nos anos 50. Define-se como um sistema de produção “puxada”, onde a produção e movimentação de materiais ocorrem à medida que estes são necessários – produto certo, no momento certo, nas quantidades certas. A sua aplicação interfere com a administração de materiais, gestão da qualidade, espaço físico, organização do trabalho e gestão de recursos humanos.

3.2.2. LEAN NA CONSTRUÇÃO

Lauri Koskelsa, no início dos anos 90, começou a introduzir as filosofias da produção *Lean* na construção e abriu assim caminho para que investigadores e algumas empresas da área tentassem a sua implementação e adaptação em determinadas variantes do setor, que diferem muito do que acontece na manufatura, desde a relação com o mercado, fornecedores e até com o próprio processo produtivo.

O grande desafio da aplicação de filosofias *Lean* na Indústria da Construção, tem que ver com o facto de ser um setor que presta um “serviço” baseado em projeto, que acarreta grande variabilidade. O trabalho em obra dificulta a aplicação de ferramentas *Lean* com a mesma eficiência com que são aplicadas em ambientes fabris.

Womack e Jones, defendem que as metodologias *Lean* e os seus princípios podem ser aplicadas em qualquer país e indústria. A sua aplicação, bem como, a forma de utilizar as suas ferramentas são ainda uma “novidade” e ainda não foram muito testadas, porém com as devidas adaptações é aplicável. Vários estudos demonstram que a sua implementação pode afetar o resultado final de um projeto, o que levou a um aumento do interesse entre as empresas do setor. (Genaidy et al. 2006).

3.2.2.1. Princípios *Lean* na Construção

Em 1992, Koskelsa [18] compendiou uma lista de onze princípios sobre melhoria do fluxo de processos. São eles:

1. **Reduzir as atividades que não agregam valor** – atividades que agregam valor são aquelas que convertem material e/ou informação para o que é requerido pelo cliente, as que não agregam valor, também conhecidas por desperdício, consomem tempo, recursos ou espaço sem adicionar valor ao processo. Este princípio, em determinadas situações, pode não ser aplicável uma vez que existem atividades que não criam valor para o cliente, mas que são importantes para o planejamento, orçamentação e segurança.
2. **Aumentar o valor do produto tendo em conta as necessidades dos clientes** – em muitos processos os clientes e os seus requisitos não são devidamente identificados. O mapeamento do processo deve considerar isso fazendo essa identificação de forma sistemática.
3. **Reduzir a variabilidade** – os processos de produção são variáveis, um mesmo tipo de produto produzido duas vezes apresenta diferenças, uma vez que o tempo e a matéria prima são fatores variáveis. Existem diversos tipos de variabilidade: variabilidade do tempo de processamento (tempo para processar uma tarefa), variabilidade do fluxo, e variabilidade da procura relacionada com as necessidades dos clientes de um processo. Para este princípio usa-se o conceito de padronização, para manter estabilidade de processos, garantindo que as atividades sejam realizadas sempre da mesma forma e na mesma sequência, num determinado intervalo de tempo e com mínimo de desperdícios, conseguindo elevada qualidade e alta produtividade. A variabilidade é também reduzida através do uso de equipamento que diminua a probabilidade de erro humano, e aplicação de boas práticas na gestão de fornecimentos através de alianças e acordos com fornecedores.
4. **Reduzir o tempo de ciclo (*Lead time*)** – um fluxo de produção pode ser caracterizado pelo seu tempo de ciclo, que representa o tempo necessário para que uma peça atravesse um fluxo, que corresponde ao somatório dos tempos de processamento, espera, transporte e inspeção. Uma melhoria elementar num processo produtivo é comprimir o tempo de ciclo, que implica a redução dos tempos de inspeção, transporte e espera.

Para além da eliminação de desperdícios a redução do tempo de ciclo apresenta as seguintes vantagens:

- Entrega mais rápida ao cliente;
 - Redução da necessidade de elaboração de relatórios sobre procura futura;
 - Diminuição de interrupções do processo de produção devido a mudanças de “encomendas”;
 - Maior facilidade na gestão dos processos, dado que o volume de produtos inacabados é menor.
5. **Simplificar reduzindo o número de passos e ligações** – a simplificação pode ser feita, por um lado, eliminando as tarefas que não agregam valor e por outro reconfigurando os passos ou partes do processo que agregam valor. Existem várias formas de simplificar o processo de produção, como o uso de elementos pré-fabricados, standardização de peças, materiais e ferramentas, tornar os fluxos mais curtos consolidando as tarefas, equipas polivalentes minimizar a quantidade de controlo de informação necessária.

6. **Aumentar a flexibilidade do resultado final** – à primeira vista aumentar a flexibilidade parece ser contraditório à simplificação. No entanto, com uma boa compreensão dos princípios e dos processos é exequível. O aumento de flexibilidade corresponde à capacidade de alteração do produto final de acordo com o que é requerido pelo cliente, sem acarretar um grande aumento de custos. A aplicação deste pode ser feita através da redução dos tamanhos dos lotes, do tempo de ciclo, personalização do produto o mais tarde possível e formação multifacetada de mão-de-obra.

7. **Aumentar a transparência do processo** – a falta de transparência do processo aumenta a propensão para errar, reduz a deteção de erros e diminui a motivação para melhorar. Ademais almeja-se tornar o processo produtivo transparente e perceptível para que sejam facilitados o controlo e melhorias. Algumas práticas para alcançar uma maior transparência:
 - Aplicação de programas de melhoria da organização e limpeza dos espaços como o método 5S's (ver Capítulo 4.5.1.);
 - Tornar o processo facilmente observável;
 - Converter características invisíveis do processo em visíveis através de medições;
 - Incorporar informações do processo em áreas de trabalho, ferramentas, recipientes, materiais e sistemas de informação;
 - Uso de dispositivos visuais.

8. **Focalizar o controlo no processo global** – consiste na otimização do fluxo global do processo através da atribuição de autonomia às equipas de trabalho e cooperação a longo prazo com os fornecedores.

9. **Estabelecer uma melhoria contínua do processo** – o empenho para reduzir o desperdício e aumentar o valor é uma atividade interna, incremental e interativa que pode e deve ser aplicado de forma contínua. Este princípio pode ser alcançado à medida que os outros vão sendo cumpridos. Existem vários métodos para implementar a melhoria contínua:
 - Medir e monitorizar o progresso;
 - Implementar gestão visual;
 - Promover o envolvimento de todas as pessoas (uma melhoria constante deve ser requerida e recompensada).

10. **Manter o equilíbrio no fluxo** – as melhorias no fluxo e as melhorias de conversão estão interligadas da seguinte forma:
 - Melhores fluxos exigem menos capacidade de conversão e, portanto, menos investimento em equipamentos;
 - Fluxos mais controlados facilitam a implementação da nova tecnologia de conversão;
 - A nova tecnologia de conversão pode fornecer menor variabilidade e, assim, gerar benefícios.

11. **Benchmark** - é essencialmente um procedimento de comparação da performance atual com a melhor prática conhecida no mercado, num determinado segmento ou aspetos específicos, aplicado em atividades que agregam valor. Isso implica o conhecimento dos processos próprios da empresa e a identificação das boas práticas em empresas similares. Assim que a performance é comparada com a melhor, as atividades selecionadas são redefinidas de acordo com os objetivos estratégicos da empresa. Uma completa implementação de benchmarking permite melhorias na qualidade de decisão relativamente ao projeto e planeamento.

3.3. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR– VSM (“VALUE STREAM MAPPING”)

O VSM é uma ferramenta *Lean*, criada pelo Sistema de Produção da Toyota, que serve para mapear o fluxo de materiais e de informação utilizados em todas as fases, ao longo de um processo produtivo. Consiste no conjunto de ações, com ou sem valor agregado necessárias para transformar um produto dum estado bruto - “cru”, até ao cliente. O VSM não se limita a identificar os desperdícios de um processo produtivo, pode também ser usado para analisar e ajudar o planeamento de processos, rastrear o movimento de materiais e documentar o fluxo de informações de um determinado produto ou família de produtos.

A aplicação do VSM foi abordada nos últimos anos por diversos autores, como é o caso de Hines e Rich (1997), Hines et al. (1998), Sullivan et al. (2002), Lima e Zawislak (2003), Braglia et al. (2006), Adrian et al. (2007), Barber e Tietje (2008), Al-Tahat (2010); Lu et al. (2011), Teichgraber e de Bucourt (2012), Basu e Dan (2014) e Susilawati et al. (2015), com especial foco para a melhoria da produtividade, redução do *lead time* e dando destaque ao êxito da sua aplicação. Alguns autores debruçaram-se também sobre a aplicação do VSM na Construção. Estas considerações segmentaram-se em três categorias: **processos construtivos, macro-processos e operações específicas**. No processo construtivo usa-se o VSM para uma melhoria fundamental do processo em geral, com uma visão mais abrangente da obra. Os macro-processos apresentam um mapeamento integrado e personalizado para reduzir os desperdícios e agregar valor na entrega de projetos. Considerações sobre a cadeia de produção foram explorados por Arbulu e Tommelein [40] e Fontanini [41], nomeadamente na implementação de tubagens e na sequência produtiva de componentes de alumínio para um edifício residencial, respetivamente. A um nível mais operacional aborda-se o VSM de uma tarefa em particular, procurando analisar mais ao detalhe. Como é o caso de Pasqualini e Zawislak [14], que exploraram o processo de um trabalho de alvenaria.

A tabela seguinte mostra os artigos, dissertações e casos de estudo em que o presente documento se fundamentou.

| Nº | Autores | Ref. | Categoria | Caso de estudo |
|----|---|------|--|------------------------|
| 1 | Haitao Yu, Mohamed Al-Hussein, M.ASCE, Saad Al-Jibouri e Avi Telyas – “ <i>Lean Transformation in a Modular Building Company: A Case for Implementation</i> ” | [10] | Processo construtivo Operações específicas | Construção modular |
| 2 | Karin Bergstrand e Viktor Appel – “ <i>Shorter project lead times in construction</i> ” | [17] | Macro-processo | Atividades de montagem |
| 3 | Fernanda Pasqualini e Paulo Antônio Zawislak.(2005) – “ <i>Value Stream Mapping in Construction: A Case Study in a Brazilian Construction Company</i> ” | [14] | Operação específica | Alvenaria |
| 4 | Yaxu Li – “ <i>Value Stream Mapping (VSM) in construction and manufacturing industry: a structured literature review and comparative analysis</i> ” | [12] | Processo construtivo Macro-processo Processo de suporte à construção | - |
| 5 | Khaja Layeequddin e Suebha Khatoon – “ <i>Lean Construction – Application of Value Stream Mapping on Infra Structure Project</i> ” | [13] | Processo Construtivo | - |

| | | | | |
|---|--|------|----------------------|------------------|
| 6 | Haitao Yu, Tarry Tweed, Mohamed Al-Hussein e Reza Nasserri – “ <i>Development of Lean Model for House Construction Using Value Stream Mapping</i> ” | [16] | Processo construtivo | Construção geral |
| 7 | Roberto J. Arbulu e Iris D. Tommelein – “ <i>Value Stream analysis of construction supply chains: Case study on pipe supports used in power plants</i> ” | [40] | Macro-processo | Tubagens |

Tabela 3.1 - Casos de estudo do VSM na construção

3.3.1. BENEFÍCIOS DO VSM

Segundo Martin e Osterling [21], o VSM contempla os seguintes benefícios:

- Apresenta uma visão holística de todo o fluxo

Ao ser feito um mapeamento do fluxo de valor, haverá um melhor entendimento de todo o processo produtivo. A interligação de diferentes fases num sistema só, permite identificar as ações com e sem valor agregado possibilitando a remoção e alteração das que não têm, para se poder alcançar um melhor fluxo do processo. O VSM também ajuda a detetar eventuais falhas de informação.

- Desenvolvimento de medidas de melhoria

Uma vez identificados os desperdícios no processo de produção, poderão ser tomadas medidas de melhoria com o intuito de eliminar desperdícios e implementar outras que acrescentem valor. O VSM aplica-se com experimentação calculada em certas fases do processo antes de o perturbar como um todo.

- Identificação de desperdícios

O VSM permite identificar todo o tipo de desperdícios na cadeia e deteta áreas específicas para melhorar. A sua aplicação no “estado atual” do produto revela as ações que adicionam ou não valor ao processo. Os tipos de desperdício mais comuns são:

| | | |
|----------------------------|---|---|
| Sobreprodução |  | Mais produção do que é necessário ou antes de ser necessário |
| Tempos de espera |  | Tempo de espera “gasto” entre as fases do processo |
| Transporte |  | Transporte de produtos e materiais desnecessários |
| Extra-processamento |  | Trabalho ou qualidade acima do que é requerido pelo cliente |
| Inventário |  | Produtos e materiais em excesso a serem processados. Um planeamento defeituoso leva à inutilização de espaços necessários |
| Moção |  | Mobilização humana desnecessária |
| Defeitos |  | Esforço causado por trabalho a mais e informação incorreta |

Tabela 3.2 - Tipos de desperdício identificados no VSM

3.3.2. IMPLEMENTAÇÃO DO VSM

De acordo com Rother e Shook (1998), apesar da noção de fluxo de valor considerar todas as atividades necessárias para transformar uma matéria-prima (em estado “cru”) num produto pronto para ser entregue ao cliente final, a implementação da produção *Lean* deve começar dentro da empresa e posteriormente expandir-se para toda a cadeia de valor

O VSM está separado em três fases:

1. **Seleção da família de produtos:** identificação de um produto ou uma família deles que percorram um conjunto de passos no processo produtivo de forma sistemática.
2. **Mapa do estado do fluxo atual:** após a seleção da família de produtos, procede-se à criação do Mapa do Estado do Fluxo Atual, que como o próprio nome indica, é um desenho de como está a decorrer o processo produtivo existente.

A figura 3.2 mostra um mapa de um fluxo de valor genérico. Como se pode ver o controlo de produção é a base de toda a operação, que recebe uma “encomenda” do cliente e através dum constante fluxo de informação estabelece o contacto com fornecedores e com as diferentes etapas (estações) do processo perscrutado. O fluxo de materiais está interligado com o fluxo de informação. Em cada estação são catalogadas as tarefas a executar e expostos os dados.

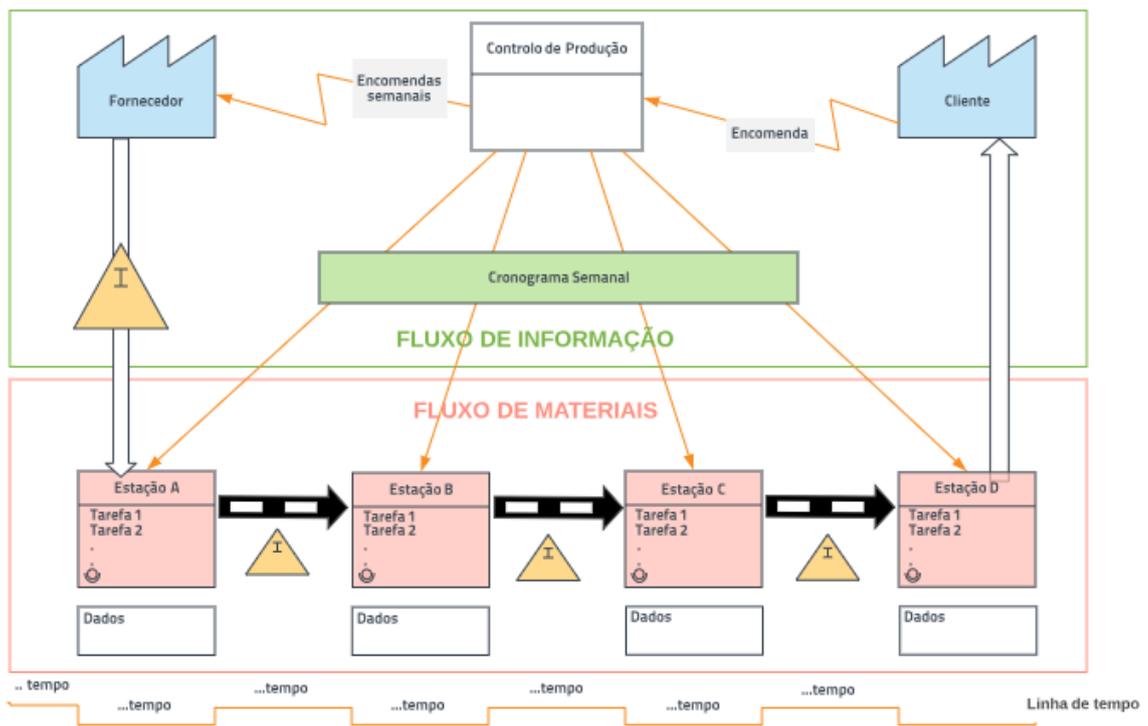
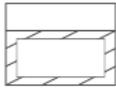


Figura 3.2 - Mapa do fluxo de valor genérico

3. **Mapa do estado do fluxo futuro:** o mapa do estado do fluxo futuro é o último dos passos do VSM. Este será um desenho do “estado ideal” do processo, a melhor forma de atuar tendo em conta o mapa do estado do fluxo atual. As propostas de melhoria apontam onde estão os desperdícios e como devem ser “atacados”, reduzidos, e se possível, eliminados. A sua implementação pode não ocorrer integralmente, num primeiro momento, mas enfrentam-se os pontos mais problemáticos até se atingir o “estado ideal” mostrado pelo mapa.

3.3.3. Símbolos do VSM

O VSM utiliza símbolos para representar de uma forma clara e sucinta todo o processo, desde a matéria-prima crua até ao cliente final. A tabela seguinte mostra os símbolos usados num VSM:

| Símbolos | Significado | Nota | |
|---|--|---|------------|
|  | Fontes externas | Fornecedores, clientes ou processos de produção exterior | PROCESSOS |
|  | Processo | Processo, operação, estação ou departamento | |
|  | Processo partilhado | Processo, operação ou departamento partilhado | |
|  | Caixa de dados | Registo de dados relativos ao processo a que está relacionado | |
|  | Inventário | Inventário entre dois processos | INFORMAÇÃO |
|  | Supermercado | Stock controlado de materiais para programar as atividades a montante | |
|  | Movimento de material "Puxar" | Retirada de materiais, associado a um supermercado | |
|  | Sequência de fluxo "Primeiro a entrar, Primeiro a sair" | Transferência de quantidades controladas de material | |
|  | Stock de segurança | Margem de inventário para proteger o sistema a eventuais flutuações das encomendas dos clientes | |

| | | | |
|---|---|---|--------|
|  | Entrega ou envio por caminhão | Transporte de material. Frequência e quantidades descritas | |
|  | Caixa de nivelamento de carga | Ferramenta para intercetar lotes do <i>Kanban</i> e nivelar o volume de produção por determinado período de tempo | |
|  | Ícone visual | Recolha de informação por visão | |
|  | Informação verbal | Fluxo de informação verbal | |
|  | "Explosão" <i>Kaizen</i> | Realce de planos de melhoria necessárias nos processos | |
|  | Operador | Representa um operador. Mostra o número de operadores associados a um processo | VSM |
|  | Linha de tempo | Mostra os tempos que acrescentam valor (tempo de ciclo) e os que não acrescentam (tempo de espera) | |
|  | <i>Kanban</i> de requisição | Indica quanto deve ser requisitado/comprado | |
|  | <i>Kanban</i> de abastecimento | Indica ao operador o material que pode transferir de um supermercado para um processo | KANBAN |
|  | Sinal do <i>Kanban</i> | Sinaliza o momento em que o ponto de reposição é alcançado e é necessário produzir outro lote | |
|  | Posto <i>Kanban</i> | Local onde o <i>Kanban</i> é colocado para transferências de carga | |
|  | Movimento de materiais acabados | Usado também para departamentos de controlo de produção | SETAS |
|  | Movimento de materiais de produção "empurrada" | Material é produzido a montante e "empurrado" para a atividade de jusante | |

| | | |
|---|---------------------------------------|---|
|  | Fluxo de informação manual | Fluxo de informação de relatórios, memorandos ou conversações. Frequências e outras notas podem ser relevantes |
|  | Fluxo de informação eletrónica | Fluxo de informação eletrónica como fax, e-mail ou qualquer outro sistema eletrónico. O conteúdo da informação fica registado num sistema |

Tabela 3.3 - Símbolos num mapa de fluxo de valor

3.4. CONSTRUÇÃO COMO FLUXO

Koskelsa [18] defende que a construção deve ser vista como um conjunto de processos de fluxo. Os problemas de fluxo mais sérios na construção são causados pelo processo tradicional, definição dos conceitos de produção e organização ou pela peculiaridade do setor.

Estabelece ainda sete precondições para se estabelecer um bom fluxo na realização de uma determinada atividade de um processo construtivo:

| | DEVE ESTAR ASSEGURADO |
|----------------------------------|--|
| Projeto de construção | Planos, desenhos e especificações corretos |
| Materiais | Componentes e materiais |
| Trabalhadores | Número necessário de trabalhadores |
| Equipamento | Ferramentas e máquinas |
| Espaço | Espaço suficiente disponível para executar a atividade |
| Interligação de processos | Coordenação entre atividades |
| Condições externas | Clima, condições de trabalho e envolvente aceitáveis |

Tabela 3.4 - Precondições de um bom fluxo na construção

4

MODELO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo procede-se à exposição de um modelo aplicado na construção civil, sustentado em metodologias *Lean*, designadamente através da ferramenta do Mapeamento do Fluxo de Valor – VSM.

O VSM aplicado segmenta-se em quatro partes fundamentais, que são descritas ao longo do capítulo, pela ordem seguinte: decisões preliminares; elaboração do mapa do estado do fluxo atual; análise o mapa do estado do fluxo atual e elaboração do mapa do estado do fluxo futuro.

4.2. OBJETIVOS DO MODELO

Através da aplicação da ferramenta VSM é apresentado o mapeamento do fluxo de valor de um processo construtivo, com o objetivo de efetuar um diagnóstico do seu procedimento, e em seguida elaborar uma proposta com o propósito de eliminar ou diminuir desperdícios, otimizar processos, melhorar o planeamento e a comunicação, com o desígnio final de fazer aumentar a produtividade de todo o processo. Pretende-se também apresentar a aplicação de alguns conceitos *Lean* na construção indicando as suas vantagens e limitações. Em suma:

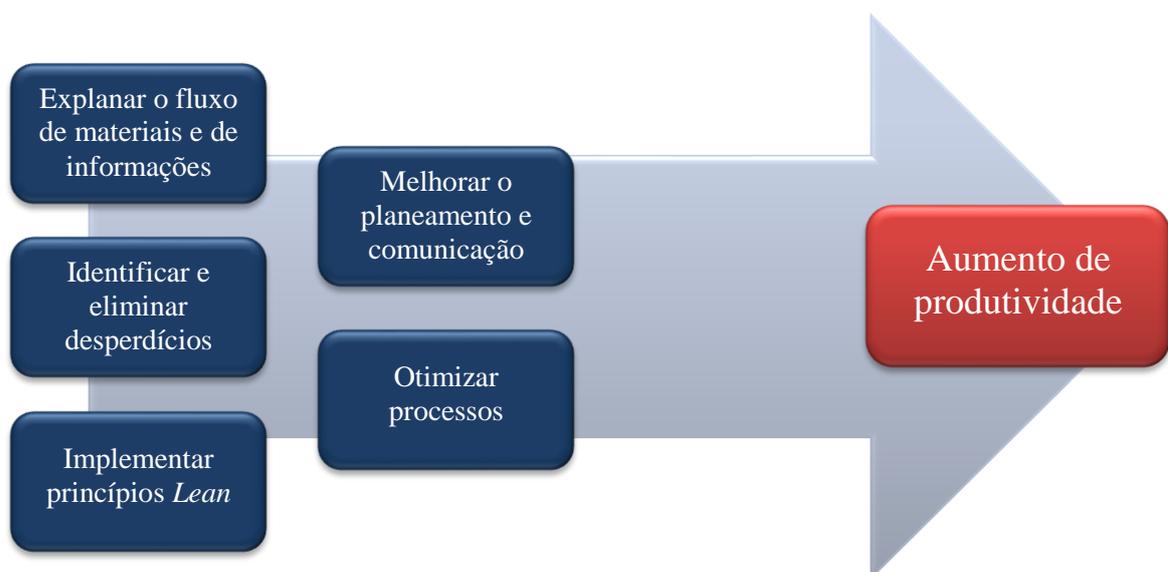


Figura 4.1 - Percurso do modelo

4.3. DESCRIÇÃO DO MODELO

Decisões Preliminares

Num VSM aplicado a um produto manufaturado, a análise não deverá ser feita a todos os produtos produzidos por determinada empresa, deverá ser **selecionada uma família de produtos** a que está associado o maior volume de produção. No entanto, no caso da construção, cada fase ocorre progressivamente durante um longo período de tempo e apresenta variabilidade nos processos de produção. Cada uma destas fases pode ser considerada uma espécie de “sub-produto” dentro da planta industrial, no caso estaleiro. Deste modo, em vez de se selecionar uma família de produtos para iniciar um VSM na construção, dever-se-á escolher um processo ou uma tarefa em obra.

Para além desta seleção, tem também de ser definido o **nível de mapeamento**. Na Indústria, o mapeamento começa ao nível do processo de produção, num único plano, em que existe um fluxo contínuo do produto. No setor da construção tal não acontece, as diferentes fases (produtos) não se movem ao longo da linha de produção, o que se move são os trabalhadores (de uma tarefa para a seguinte), pelo que tem de ser escolhido o nível a abordar, ou seja, é necessário delinear o fluxo de valor do processo construtivo como um todo ou apenas uma única estação desse mesmo processo.

Recuando à tabela 3.1, pode-se verificar que as categorias associadas às diversas obras, são na verdade definidas pelo nível de mapeamento que cada autor decidiu considerar no seu caso de estudo.

Mapa do Estado do Fluxo Atual

O Mapa do Estado do Fluxo Atual deve reproduzir de uma forma clara e correta o fluxo corrente de valor, e a sua conceção deverá ser feita com base em informação obtida diretamente da obra, seguindo a cadeia de produção desde o fornecedor ao “cliente”.

Recolha e processamento de dados:

Em produtos manufaturados, geralmente, é possível acompanhar a sua produção desde o início (fornecimento de materiais) ao fim (produto pronto para ser entregue ao cliente) num mesmo dia. No entanto, dado que na construção o “tempo de produção” não tem o mesmo significado que na manufatura, é praticamente impossível fazer o rastreio (recolha de dados) num só dia.

A recolha de dados é feita através da observação concreta da cadeia de produção. É necessário acompanhar todos as etapas do processo produtivo - não como devem ser feitos, mas como são feitos. Por outras palavras, expor o que acontece na realidade.

De acordo com Rother e Shook (2003), uma regra importante no VSM é utilizar o cronómetro ao longo dos reais fluxos de material e informação, e sustentar-se apenas em informações obtidas em primeira mão. No entanto, esta regra não é aplicável na Construção. A alta variabilidade nas durações das tarefas, bem como os tempos de espera e a complexidade no processo construtivo, tornam impossível, para uma equipa reduzida de investigadores, coletar dados suficientes meramente pela observação do local. Dada a falta de meios disponíveis, vários investigadores nos seus casos de estudo cruzam os dados estimados pelos diferentes intervenientes na obra com dados registados (de outras obras) pela empresa colaboradora.

Os dados a recolher vão variar consoante o objetivo do estudo. São delineados pelo autor do mesmo, que escolhe os indicadores, que por um lado se compatibilizam com as características da obra em causa, e por outro servem para responder ao objeto definido. Assim sendo, mapas do fluxo de valor

correspondentes a casos de estudo semelhantes poderão apresentar aspetos distintos. Na tabela 4.1. estão definidos os conceitos chave dos dados a recolher nas operações e a respetiva adaptação à construção que se considerou conveniente.

| Conceitos chave | Definição | |
|------------------------------------|--|--|
| | Geral | Construção |
| Tempo takt | Tempo que um produto precisa para ser produzido para satisfazer a encomenda do cliente. Relação entre ritmo de produção e ritmo de vendas. | Tempo em que o m ² deve ser executado, ou ritmo de produção baseado no que o “cliente” pedir |
| Tempo de ciclo (TC) | Tempo decorrido para que um produto e o seguinte sejam produzidos, pelo mesmo processo. Por outras palavras, ritmo de produção. | Tempo médio gasto para finalizar o m ² ou duração que uma tarefa precisa para ser executada |
| Tempo de mobilização (TM) | O tempo que uma equipa precisa para mudar de uma tarefa para outra, incluindo desmobilização e mobilização | |
| Tempo de espera (TE) | Tempo decorrido entre a conclusão de uma tarefa e o início da outra. Num sistema <i>Lean</i> , o TE serve como um amortecedor (<i>buffer</i>) para proteger as equipas a jusante da variabilidade do fluxo | |
| Tempo de atividade (uptime) | Porcentagem de tempo que uma máquina ou processo produz sem causar defeitos | Medição da proporção de tempo de produção disponível que é realmente usada na construção, em percentagem |
| Defeitos | Defeito num produto. | |
| Turnos | Período alternado para a realização de um trabalho ou tarefa | |

Tabela 4.1 - Conceitos chave dos dados de recolha

Análise do Mapa do Estado do Fluxo Atual

O mapa do estado do fluxo atual serve unicamente para mostrar como está a decorrer o processo produtivo. A sua análise, é onde efetivamente se identificam os desperdícios (sobreprodução, tempos de espera, transporte, extra-processamento, inventário, moção e defeitos) e se indicam ações de melhoria na conceção de um novo fluxo, mais regular, sem retrocessos, com um *lead time* mais curto, melhor qualidade e menor custo.

Mapa do Estado do Fluxo Futuro

O mapa do estado do fluxo futuro deve ser elaborado da mesma forma que ocorre para produtos manufaturados, isto é, a partir do desenho do mapa do estado fluxo atual e da sua análise. Nele estão retratadas as medidas implementadas, que devem responder às falhas detetadas.

4.4. CONSIDERAÇÕES DO MODELO

4.4.1. MEDIÇÕES NA CONSTRUÇÃO

A medição de dados é fundamental porque promove a melhoria interna na organização e estabelece a comparação entre projetos e organizações. Na construção, as medições tradicionais concentram-se essencialmente nos custos, produtividade ou rendimentos e são depreciadas sob diversos pontos de vista. Os seus maiores problemas são:

- Não incitam uma melhoria contínua;
- Não procuram entender a origem de custos indiretos;
- Orientam a uma otimização local em vez de global;
- Medem depois da ocorrência;
- Tendem a coletar dados em excesso.

Torna-se evidente que a forma convencional de medir falha na identificação de desperdícios e na estimulação de uma melhoria contínua. As medições baseadas numa filosofia *Lean*, sustentam a aplicação de novos princípios, como redução de desperdícios, adição de valor, redução da variabilidade, simplificação, transparência, visão global do processo e melhoria contínua.

Todavia os desenvolvimentos da aplicação destas medições na construção apresentam problemas como: **singularidade dos projetos**, relativa à falta de repetição e contextos distintos, que tornam difícil a comparação de projetos e organizações; **dificuldade na recolha de dados** em obra; **variação** de definições e procedimentos **na recolha de dados**.

4.4.2. PRELÚDIO DO MODELO

Quando se caracteriza um fluxo no contexto da construção há contrariedades que se manifestam.

| Circunstância | Contrariedade | Medidas preconizadas |
|--------------------|--|--|
| Mudanças | Interrompem o fluxo, alteram o processo, criam a necessidade de novo planeamento. | <ul style="list-style-type: none"> • Proceder a um plano preventivo para identificar as mudanças previamente; • Fazer com que os clientes estejam atempadamente prevenidos dos prazos finais; |
| Planeamento | Erros no planeamento causam enganos, atrasos e retrabalho. Falta de informação provoca tempos de espera e atrasos. | <p>Aplicação do BIM¹, que permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envolver o conhecimento dos intervenientes sobre o processo com antecedência; • Detetar erros e colisões imediatamente; • Disponibilizar a mesma informação, ao mesmo tempo, no mesmo local; |

¹ BIM – *Building Information Modeling* – Modelação de Informações na Construção: conceito desenvolvido no subcatálogo 4.5.2.

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| Retrabalho | Suprime o fluxo fazendo-o começar de novo, atrasa outras atividades, limita o progresso e aumenta o tempo de atividade. | <ul style="list-style-type: none"> • Uma melhoria contínua contribui para menos erros quando uma atividade é repetida; • A padronização de tarefas e processos reduz a existência de retrabalho. |
| Interligação de processos | Causa interrupções noutras atividades, o que leva à obstrução do fluxo. | <ul style="list-style-type: none"> • A percepção clara da interdependência dos intervenientes poderá aumentar o empenho de completar uma atividade atempadamente. |
| Mapeamento do processo | A falta de uma visão geral do processo pode levar a que as fragilidades não sejam detetadas | <p>Utilização do VSM, que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilita a localizar as fragilidades e áreas de melhoria; • Aumenta a sensação de partilha de um objetivo comum; • Aumenta a transparência contribuindo para um fluxo melhor. |
| Materiais | A falta de materiais causa atrasos que interrompem o fluxo | <ul style="list-style-type: none"> • Implementação da filosofia JIT, como o sistema <i>Kanban</i> – garantia que tudo está disponível no momento certo. |
| Espaço e equipamentos | Um estaleiro desorganizado manifesta desperdícios e procura desapropriada de equipamentos. | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação da ferramenta 5S's; |
| Autoridade | Falta de liderança pode levar ao desmazelo dos trabalhadores e à desresponsabilização. | <ul style="list-style-type: none"> • Responsabilização leva a um aumento de produtividade; • Fomentar o envolvimento antecipado no processo pode criar uma sensação de domínio e entusiasmo. |
| Cultura | Mentalidade mais tradicional, onde o fluxo não é o enfoque. Uma mentalidade “fechada” não contribui para a otimização do sistema. | <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a motivação dos trabalhadores; • Fomentar uma melhoria de atitude. |
| Confiança | Desconfiança reduz a possibilidade de pessoas reportarem problemas ou sugerirem melhorias. | <ul style="list-style-type: none"> • Permitir que toda a gente acrescente <i>inputs</i> ajuda a recolher informações importantes em relação a erros, enganos e melhorias; |

Tabela 4.2 - Contrariedades na construção

As circunstâncias que despoletam as contrariedades estão muitas vezes interligadas. Isso significa que é difícil vincular uma metodologia *Lean* a uma única circunstância. Por exemplo, uma mudança de última hora num projeto pode levar à alteração de um material, que se pode transformar numa contrariedade de falta de material, quando na verdade foi uma mudança. Por conseguinte, será útil para um praticante de *Lean* na construção, em estar alertado quanto à relação entre as diferentes circunstâncias, especialmente quando procura as suas causas ou medidas de prevenção.

Se as sete precondições explanadas na tabela 3.5 não se verificarem o fluxo será reduzido e os tempos sem valor agregado aumentam levando a desperdícios. Não é por acaso que algumas das circunstâncias identificadas são coincidentes com essas precondições.

4.5. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

4.5.1. DESENVOLVIMENTO DAS MEDIDAS PRECONIZADAS

BIM

O *Autodesk*² define BIM (*Building Information Modeling*- Modelação de Informações na Construção) como um processo baseado num modelo 3D inteligente que disponibiliza a arquitetos, engenheiros e profissionais da construção um conhecimento e ferramentas para, de forma mais eficiente, planejar, projetar, construir e realizar a gestão de edifícios e infraestruturas.

Por outras palavras, BIM é um modelo virtual com informação agregada relevante para a conceção, dimensionamento, construção e ciclo de vida de determinada construção. Este tipo de ferramentas permite gerar grandes quantidades de informação, fundamentais para as diferentes variantes na construção, como: arquitetura, estruturas, instalações, gestão de projetos, planeamento de obra, etc. A partilha de informação entre os intervenientes do processo construtivo ao longo das diferentes fases do projeto, em especial em fase preliminar, evita a propagação de erros e dinamiza o processo de atualização, o que leva a uma otimização de prazos e minimização de custos.

Quando se fala em desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação, as vantagens mais consideradas são a “substituição” de postos de trabalho e a automatização de processos, no entanto há muitos outros benefícios. João Poças Martins afirma que “Com efeito, o impacto das novas tecnologias não se restringe a uma redução da mão de obra e do tempo necessários à realização das atividades. As organizações podem adotar ou rejeitar uma nova tecnologia por razões que transcendem os potenciais ganhos imediatos de produtividade ou de qualidade que esta possa anunciar” [27]



Figura 4.2 - Benefícios do BIM para as construtoras (2009 e 2012). Adaptado de [26]

² *Autodesk* – Empresa de *software* de design e de conteúdo digital.

Kanban

Kanban é uma palavra japonesa que significa registo ou cartão visível. Este sistema é uma das principais ferramentas do JIT que permite atingir o *stock* mínimo de determinado material. Apenas gera a necessidade de produção quando há procura, possibilitando assim o aumento de produtividade e a redução de *stock* desperdiçado na produção.

De acordo com Andrea Chiarini [24], as empresas que implementam este sistema na sua estrutura organizacional conseguem obter os seguintes benefícios:

- Eliminação da sobreprodução;
- Aumento da flexibilidade na resposta ao cliente;
- Simplificação do sistema de informação da produção;
- Aumento da integração dos processos, desde o fornecedor até ao cliente final.

Num sistema *kanban* é utilizado um cartão de ordem de produção designado por *kanban*. Este cartão pode ser de dois tipos: de transporte e de produção. Ambos têm um funcionamento similar, o de transporte materializa uma ordem de abastecimento aos fornecedores para “alimentarem” as linhas ou células de produção ou funciona como ligação de processos dentro da organização. O de produção é mais utilizado em linhas ou células de produção, neste caso, o cartão dá ordem ao processo a jusante para iniciar a produção.

A implementação de um sistema *kanban* com sucesso deve ter em conta a gestão de inventário, participação de clientes e fornecedores, melhoria e controlo da qualidade e envolvimento de toda a organização.

5S's

Ferramenta que contempla a organização e padronização do espaço. Corresponde a cinco palavras japonesas iniciadas com som “s” [Womack e Jones, 2003];

- Seiri (utilização) – Manter no espaço de trabalho apenas os materiais e ferramentas necessárias para a execução da tarefa nesse espaço, diminuindo assim a quantidade de obstáculos no estaleiro;
- Seiton (organização) – Simplificar a identificação e localização das ferramentas e materiais necessários para a realização da tarefa, reprimindo assim movimentos desnecessários;
- Seiso (limpeza) – Manter o local o mais asseado possível, com todos elementos nos locais correctos;
- Seiketsu (padronização) – Padronizar as práticas de trabalho e a organização do espaço, conforme as regras anteriores;
- Shitsuke (auto-disciplina) – Tornar as quatro regras anteriores num padrão, não permitindo o regresso às práticas antigas.

5

SIMULAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO

5.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo procede-se à simulação da aplicação do modelo apresentado no capítulo anterior.

O caso de estudo foi delineado em colaboração com a empresa Grupo Casais, em atividade há mais de cinco décadas no setor da Construção Civil e com presença consolidada nacional e internacionalmente. A empresa tem investido na área da reabilitação de edifícios, sendo que, houve interesse em analisar procedimentos de aumento de produtividade e consequente redução de custos neste tipo de intervenções. De referir que o tipo de reabilitação efetuado é bastante acentuado, portanto as obras funcionam como se tratasse de construção nova.

O ensaio é importante para validar as ideias e o processo propostos, e dar a conhecer aos intervenientes no processo o funcionamento de uma ferramenta *Lean* e indicar as devidas adaptações a fazer na construção, demonstrando assim a sua utilidade, vantagens e desvantagens.

5.2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

5.2.1. IDENTIFICAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste caso de estudo, selecionou-se como objeto de análise as atividades habituais do caminho crítico numa obra de reabilitação.

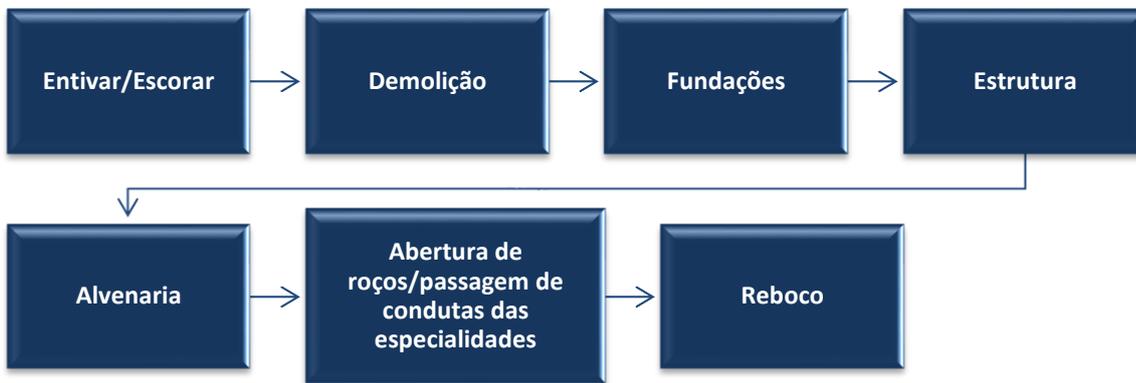


Figura 5.1 - Caminho crítico numa obra de reabilitação

Quando se visualizou o caminho crítico como um fluxo de valor (Figura 5.2), constatou-se que se devia reduzir o nível de mapeamento (focando apenas uma estação), dado que um único mapa englobando todas as tarefas de cada estação é muito grande e intrincado, por conseguinte a recolha e tratamento de dados é muito complexa.

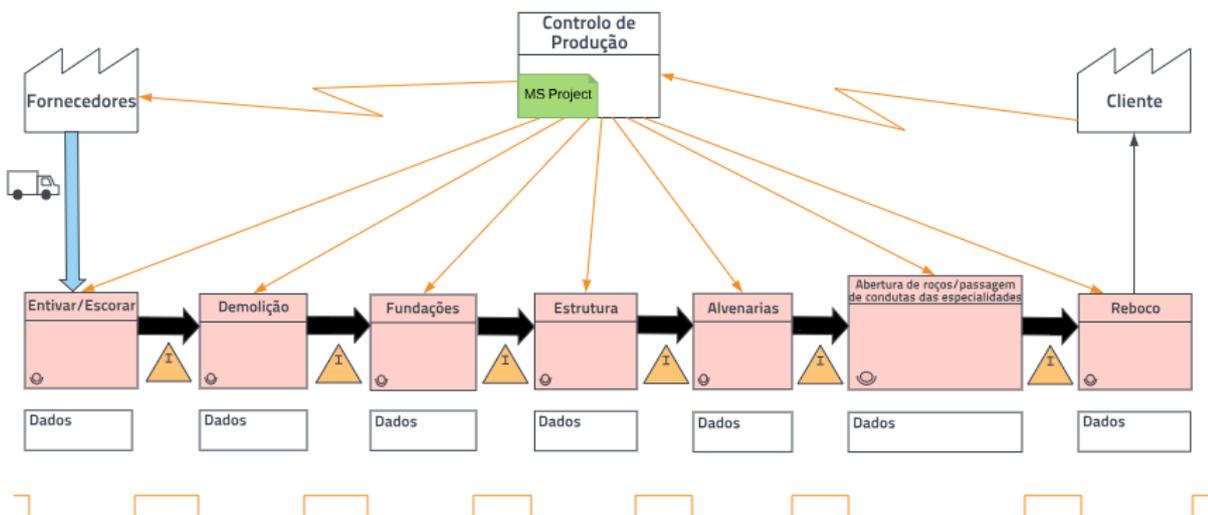


Figura 5.2 - Mapa do fluxo de valor do caminho crítico (Nível Alto)

Assim sendo, optou-se por analisar a estação “abertura de roços³/passagem de condutas das especialidades”, visto ser uma atividade que apresenta em muitas obras desperdícios invulgares, pelo que se torna num bom ponto de partida para se efetuar a implementação de uma metodologia *Lean*.

³ Roço – abertura em alvenaria ou betão para aplicação de tubos ou cabos

A estação de abertura de roços passa a ser o processo em análise, sendo que a estação que a precede (alvenarias) simboliza um fornecedor e a estação seguinte (reboco) representa o “cliente”. A estação foi decomposta pelas tarefas características da sua fase de execução:

- Preparação da zona de trabalho;
- Marcação;
- Execução dos roços e remoção dos RCDs ⁴;
- Instalação técnica da especialidade;
- Tapamento de roços;
- Carga de entulho para camião ou contentor.

5.2.2. DEFINIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A matéria considerada é a instalação de uma rede de abastecimento de águas, sendo que a objeto de análise é abertura de roços para a passagem de tubagens desta rede que, **por hipótese**, é definida por:

Elementos construtivos:

Os roços são efetuados em paredes simples (parede de pano único) de alvenaria com furação horizontal.

Mediante um estudo elaborado pela empresa fez-se uma ponderação dos diâmetros e verificou-se que mais de 80% dos roços em obra vão até 40 milímetros. Foi considerada a instalação de tubagens de PVC com um diâmetro de 25 milímetros.

Os roços são tapados com argamassa de cimento e areia isenta de cal.



Figura 5.3 - Exemplo de um roço e instalação hidráulica numa parede de alvenaria (Adaptado de [42])

Processo:

⁴ RCDs – resíduos de construção e demolição

A abertura de roços é usualmente efetuada por fases (em obra), no entanto no presente caso de estudo é assumido que as diferentes tarefas que a compõem são executadas de modo contínuo, em sequência.

Dados:

Foram utilizados alguns dos conceitos chave destacados na tabela 4.2. Houve também a necessidade de definir dois novos indicadores pensados especificamente para a aplicação do VSM na Construção, são eles: **percentagem que começou como planeado (PCP)**, que é a medida da proporção das tarefas que começam conforme o que foi planeado, em percentagem e **desfecho**, percentagem das tarefas que são operadas corretamente sem ser necessário retrabalho.

Deste modo, os dados medidos e avaliados são: tempo de ciclo (TC), tempo de espera (TE), tempo de designação, percentagem que começou como planeado (PCP) e desfecho.

5.3. SIMULAÇÃO E APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS PROPOSTAS

5.3.1. ELABORAÇÃO DO MAPA DO ESTADO DO FLUXO ATUAL

Não foram recolhidos dados de um caso em concreto. Assim sendo, os tempos e valores assumidos são meramente especulativos. Foram estimados com o intuito de retratar o melhor possível o que acontece em obra neste tipo de atividade.

Tempo de ciclo – para estimar estes valores foram consultadas as tabelas de José Paz Branco, no livro “Rendimentos de mão-de-obra, materiais e equipamento em edificação e obras públicas”. Esta estimativa é bastante fidedigna, uma vez que os valores apresentados representam “[...] o resultado da observação sistemática de rendimentos medidos e ponderados durante mais de três décadas de contacto direto com trabalhos de todos os tipos e dimensões, nesta complexa atividade”, que é exatamente o que se pretende, dados reais do que acontece em obra. Ademais, Paz Branco, menciona o seguinte: “[...] os rendimentos das tabelas poderão ser aplicados diretamente para fins essencialmente organizativos, como: [...] 3) gestão previsional de pessoal e controle de produtividade; [...]”.

Dada a variabilidade das atividades, nem sempre é possível garantir o tempo que determinada tarefa precisará para ficar completa, assim as durações das atividades apresentam uma distribuição probabilística.

No entanto, recorrendo aos conceitos de produtividade e rendimento pode-se determinar a duração de uma atividade de forma determinística. A produtividade representa o trabalho executado por uma equipa ou equipamento num determinado período, inversamente, o rendimento, representa a quantidade de tempo necessária para uma equipa ou equipamento executarem o seu trabalho. As durações podem ser calculadas através da seguinte equação:

$$D = A \times R \times N$$

Em que:

D – Duração da atividade (horas, dias, semanas)

A – Quantidade de trabalho a ser realizado (ml, m², m³, etc.)

R – Rendimento médio de uma equipa para executar uma atividade (min/m², h/m³, etc.)

N – Número de equipas atribuídas para a realização da atividade

Assim, segundo as tabelas I.2 e X.3 do livro de Paz Branco temos que:

| Tarefa | Equipa | Rendimento | Duração |
|---|-------------------------|--|---------|
| Roços – Abrir mecanicamente: Φ25 | Pedreiro Servente | 0,1 h/m ² | 60 min |
| Instalação de tubos com acessórios e segurar tubos provisoriamente: Φ25 Tubo de plástico – Em roço | Canalizador Servente | 0,39 h/m ² + 0,05 h/m ² = 0,44 h/m ² | 264 min |
| Roços – Fechar: | Pedreiro Servente | 0,06 x h/m ² | 36 min |
| Carga – a pá: Massa volúmica tijolo: 654 Kg/m ³ | Servente | 0,55 h | 13 min |

Tabela 5.1 - Cálculo da duração de tarefas

Notas:

- (1) Os valores consultados representam mão-de-obra que compreende os trabalhos de instalação de tubos “trabalhados”. As operações de corte, roscas, etc., já são considerados.
- (2) O roço considerado tem uma área estimada de **10 m²** e um volume de resíduos de **0,6 m³**.
- (3) Foram consideradas em todas as tarefas 1 equipa de trabalho.

Os **tempos de espera, desfecho** e **PCP** foram estimados, com base no diálogo efetuado com alguns intervenientes da empresa na fase de projeto e com pessoas que trabalham no meio. Assumiu-se um valor médio de PCP para todas as tarefas.

MAPA DO ESTADO DO FLUXO ATUAL

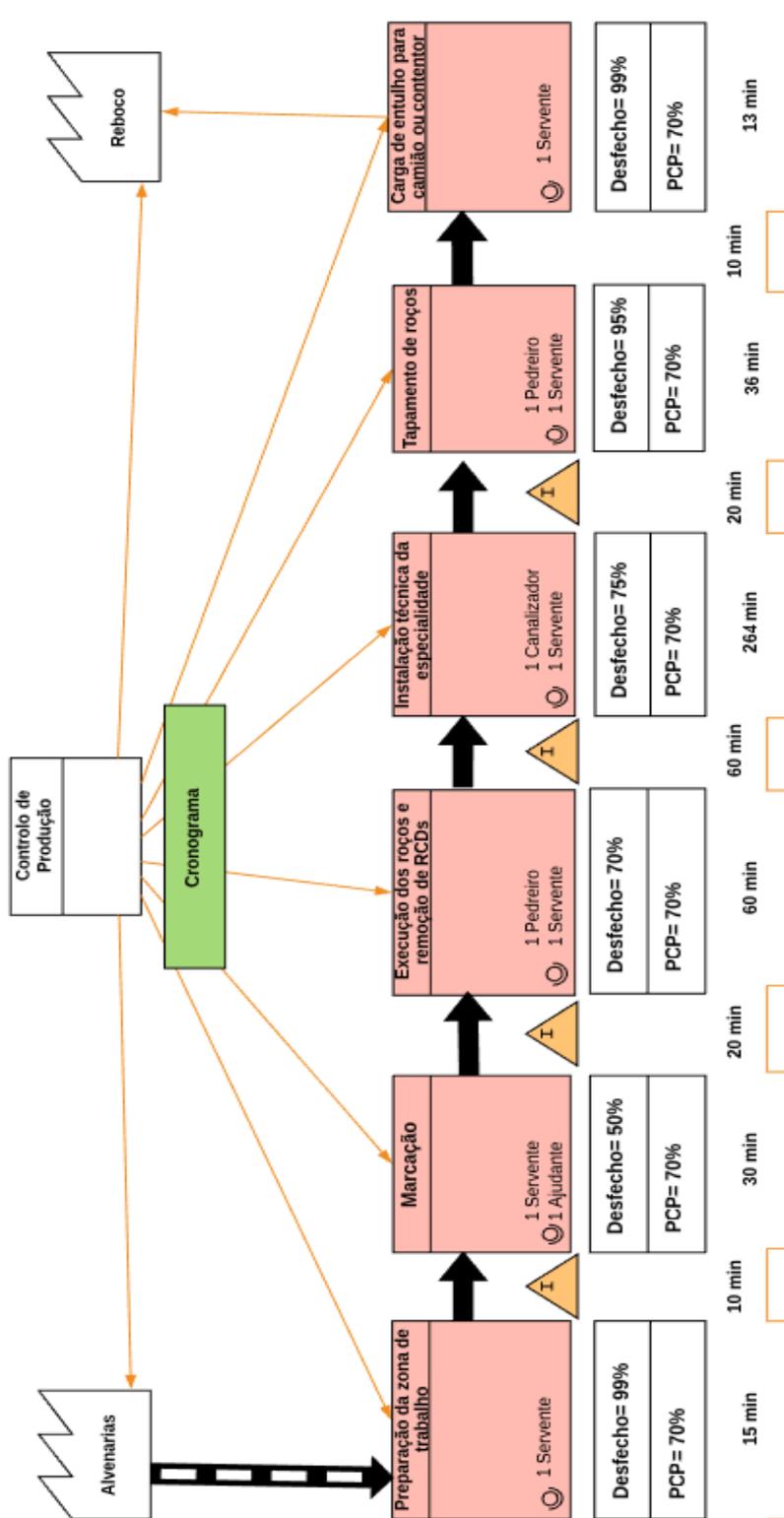


Figura 5.4 - Mapa do Estado do Fluxo Atual

5.3.2. ANÁLISE AO MAPA DO ESTADO ATUAL

A análise está obviamente condicionada pelos dados assumidos. Pretende-se ainda assim ser o mais rigoroso possível no diagnóstico e identificação de falhas.

Ao desenhar o mapa do estado do fluxo atual, foram imediatamente identificados desperdícios. A marcação de roços exibe um **desfecho** muito baixo (50%), no entanto este valor não é preocupante dado que a remarcação de roços não tem impacto relevante nos custos e duração da obra. Isto é, o ato de voltar a marcar um roço não é problemático, porém as consequências que daí advêm são.

A execução do roço apresenta um **desfecho** baixo (70%), A razão de ser deste valor pode-se dever à deficiente marcação do roço (manifestação das consequências referidas anteriormente), dado que frequentemente existe uma falta de coordenação entre as diferentes especialidades (arquitetura, estruturas, instalações, etc.), o que leva ao surgimento de incompatibilidades em obra.



Figura 5.5 - Problemas típicos na construção, devido à falta de coordenação [37]

O arquiteto José Aguiar, Investigador do LNEC⁵ na área da Reabilitação, Conservação e Restauro, afirma que “A partir de meados da década de 80 acentuou-se a produção legislativa avulso, por especialidades sem a preocupação da sua compatibilização com atividades afins e sempre numa ótica isolada do especialista, ignorando-se que o edifício é um todo.” Em relação ao “desenvolvimento das redes técnicas dos edifícios” reitera que “A sua coordenação e a compatibilização em obra dos atravessamentos e dos espaços para estas instalações técnicas passou a ser um problema adicional, porque não previsto.” [33]

A tarefa de instalação das tubagens tem também um valor de **desfecho** diminuto (75%), pode haver muitas causas para tal ocorrência, tais como: ligações entre tubagens e acessórios mal executadas, ausência ou insuficiente inclinação de tubos, tubagem incompatível com o proposto do projeto, etc. [34]

O somatório dos **tempos de espera** é de 140 minutos, o que, face ao somatório dos tempos de ciclo – 418 minutos, significa que cerca de 33% do tempo empregue à atividade em questão, é improfícuo. Parte deste valor deve-se à ociosidade dos próprios trabalhadores. Por outro lado, pode ser explicado pelo elevado tempo de designação - tempo decorrido para que uma tarefa seja associada a uma equipa de trabalho, explicado pela anómala organização do local de trabalho nomeadamente na preparação ou ajuste de materiais e equipamentos ou ainda defeituoso supervisionamento do local de trabalho.

⁵ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Uma reduzida percentagem de tarefas que começou como planeado (**PCP**) foi sempre uma realidade na construção. Couto (2006) [28] desenvolveu um estudo para apurar o incumprimento de prazos na construção em Portugal. Através de um inquérito coordenado com empreendedores, promotores, empresários, donos de obra, organismos públicos, empreiteiros, projetistas e restantes intervenientes, considerou 118 causas de atraso, classificadas segundo 12 categorias diferentes.

| Categorias das Causas dos Atrasos | |
|-----------------------------------|---|
| MT | Causas relacionadas com os Materiais |
| EQ | Causas relacionadas com o Equipamento |
| MO | Causas relacionadas com a Mão de Obra |
| GE | Causas relacionadas com a Gestão do Empreiteiro |
| GFP | Causas relacionadas com a Gestão Financeira do Projecto |
| DO | Causas relacionadas com os Donos de Obra |
| EP | Causas relacionadas com a Equipa Projectista |
| GP&F | Causas relacionadas com o Gestor de Projecto e Fiscalização |
| CRC | Causas relacionadas com o Contrato e Relações Contratuais |
| RI | Causas relacionadas com as Relações Institucionais |
| EP | Causas relacionadas com a Especificidade do Projecto |
| FF | Causas relacionadas com Factores Externos |

Figura 5.6 - Categorias de atrasos consideradas no inquérito elaborado por Couto [28]

De acordo com o estudo elaborado, as principais causas de atrasos na construção em Portugal são:

- Incumprimento de prazos pelo dono de obra;
- Desresponsabilização dos projetistas;
- Elevada inquietação dos empreiteiros por erros das outras entidades;
- Elevado valor dado ao prazo em concurso público com critérios de garantia de prazos alternativos inadequados;
- Crescimento do número de obras de conceção/construção;
- Erros, omissões e ambiguidades persistentes nos projetos;
- Programas preliminares mal estruturados pelo dono de obra;
- Indefinições e alterações do dono de obra;
- Mão-de-obra pouco qualificada;
- Má gestão de empreiteiros;
- Equipas de fiscalização pouco experientes;
- Descoordenação dos vários intervenientes.

Para o caso em particular, destacam-se os erros, omissões e ambiguidades persistentes nos projetos, mão-de-obra pouco qualificada, equipas de fiscalização pouco experientes, descoordenação dos vários intervenientes. Estas ocorrências têm grande impacto no funcionamento das obras e na sua produtividade, devendo ser colmatadas. “O incumprimento dos prazos, quer através da sua influência direta na produtividade dos intervenientes, quer através das suas consequências noutros fatores de competitividade – como é o caso do desenvolvimento sustentável – ocupa um papel central e preponderante na competitividade do setor na construção” [28]

5.3.3. ELABORAÇÃO DO MAPA DO ESTADO DO FLUXO FUTURO

Como já foi dito no capítulo anterior, o foco do mapeamento do estado futuro é eliminar os desperdícios e conceber um fluxo de valor otimizado.

5.3.3.1. Propostas de Implementação

Utilização de BIM

Interoperabilidade é um conceito essencial para a plena operacionalidade das ferramentas BIM, que consiste na capacidade de troca de dados eletrônicos entre diferentes plataformas computacionais. O desenvolvimento de normas para definir a interoperabilidade entre formatos, protocolos ou linguagens e programação é uma prática comum neste domínio.

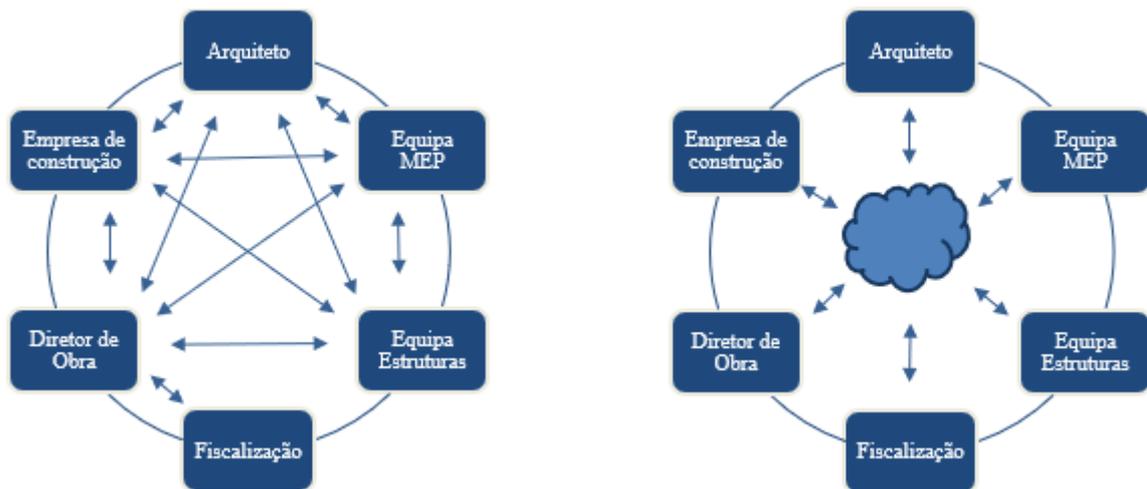


Figura 5.7 - Troca de informação entre intervenientes no processo construtivo. Processo tradicional vs Recurso a tecnologia BIM

O cruzamento dos projetos das diferentes especialidades pode ser efetuado numa plataforma de colaboração como o BIM *Server Center*, onde todos os agentes intervenientes podem aceder e compartilhar de maneira coordenada os seus projetos. A partir daí é possível fazer a deteção automática de interferências e conflitos entre os projetos das especialidades.

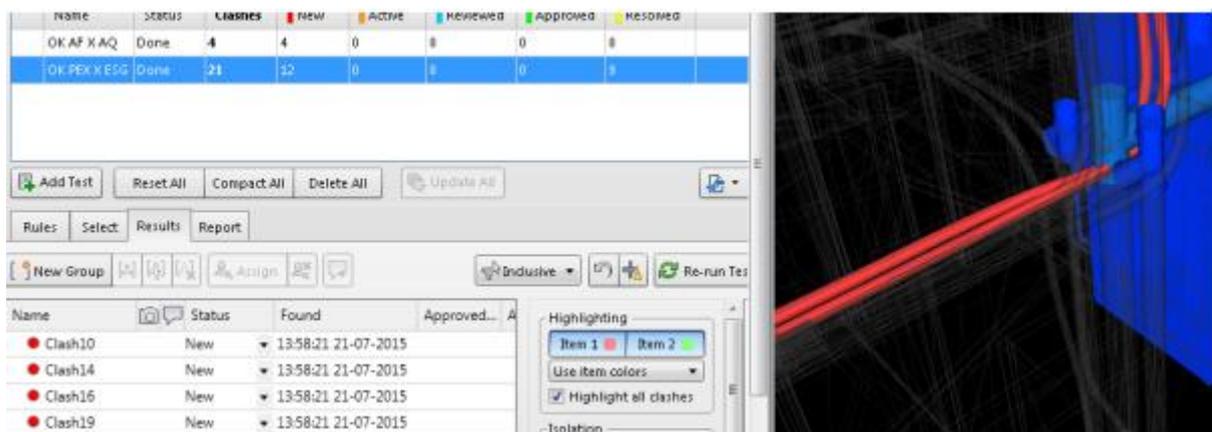


Figura 5.8 - Verificação de conflitos entre tubagens realizado pelo Navisworks⁶ [35]

⁶ Navisworks - *software* de análise de *design* 3D.

Outra das vantagens do BIM é a especificação dos materiais a utilizar. Os softwares referentes ao dimensionamento de instalações hidráulicas (MEP⁷) inserem automaticamente junções e ligações ao cruzar ou entroncar tubagens.

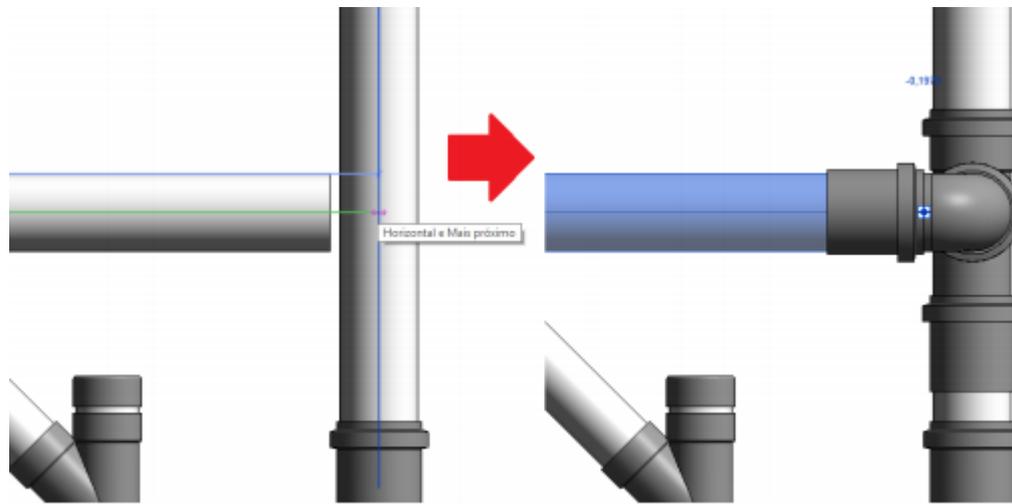


Figura 5.9 - Geração automática de conexões [35]

Padronização

Um padrão é algo estabelecido por uma autoridade como regra ou norma para a medida da quantidade, peso, extensão, valor ou qualidade. Um padrão define o que algo deve fazer ou executar. Os padrões são criados reunindo todas as partes interessadas, como fabricantes, consumidores e reguladores, de um determinado material, produto, processo ou serviço. Todas as partes beneficiam da padronização através de maior segurança e qualidade do produto e menores custos.

Dada a singularidade da construção, o foco da padronização são a ligação entre os elementos e não os elementos individuais em si, ou seja, a padronização não se reflete sobre os sistemas ou produtos padrão, mas sobre as abordagens sistemáticas para os executar.

Quando se fala em padronizar um procedimento, não é com o intuito de coibir a individualidade do trabalhador ou extinguir a diversidade do pensamento, mas sim com a finalidade de homogeneizar os conhecimentos e as tarefas desenvolvidas por eles.

A variabilidade é reduzida quando um determinado produto se torna capaz de ser produzido com as mesmas características por qualquer equipa, a qualquer hora e em qualquer lugar. Isso é alcançado fazendo-se a padronização das técnicas e conhecimentos implementados na execução desse produto. Quando as incertezas e a variabilidade diminuem dá-se um aumento de produtividade e da qualidade das diversas etapas do processo produtivo.

⁷ MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing (Mecânica, Elétrica e Hidráulica)

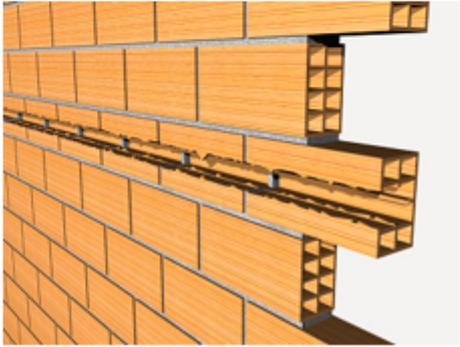
Procedimento de Trabalho Padrão

Tarefa: Execução de roços

Equipa de trabalho: 1 Pedreiro e 1 Servente

Considerações prévias:

1. Não são permitidos roços oblíquos, devendo a abertura dos roços seguir trajetos horizontais e verticais. Excetuam-se os casos em que a arquitetura do local não permita tal seguimento;
2. Não se autoriza que a tubagem corra paralelamente a instalações de água a uma distância inferior a 10 cm nem com elas se cruze a distâncias inferiores a 2 cm;



| Tipo de roço | Equipamento | Condições do Eurocódigo 6 (CEN, 2005) |
|--------------|---|--|
| Horizontal | Martelo e ponteiro ou | Profundidade máxima: 15 mm Largura: não deve exceder metade da espessura residual da parede |
| Verticais | Rebarbadora de dois discos, marca Hilti modelo DC-SE 20 | Profundidade máxima: 30 mm Largura máxima: 125 mm |
| Oblíquos | | Iguais aos roços horizontais Ângulo de inclinação: 34° (tan $\alpha = 2/3$) |

Procedimento padrão:

Figura 5.10 – Exemplo de uma Ficha do procedimento de trabalho de uma tarefa

Reduzir os tempos sem valor agregado

Sugere-se a criação de um fluxo de informação padronizado sem necessidade de consulta do encarregado para que o trabalho prossiga, através implementação de um sistema de gestão de controlo visual do processo e sistemas de endereço.

A implementação de uma gestão de controlo visual do processo que integra um espaço onde são colocados mapas de controlo da execução dos trabalhos, receção e entregas de material, planeamentos e outras informações que facilitem o fluxo contínuo.

Desta forma, adquirem-se processos mais automatizados e maior responsabilização dos operadores levando à redução dos tempos de espera e dos tempos de designação aquando a ausência ou indisponibilidade do encarregado.

Implementação de um sistema *Kanban*

Perdas que ocorrem relacionadas com a produção de componentes ou processamento de materiais, em quantidades superiores às necessárias, são uma das causas para deslizes na orçamentação de um projeto. Durante o mapeamento estado atual, levantou-se a questão de que a tarefa de tapamento de roços apresentava muitas vezes uma sobreprodução de argamassa de cimento.

A implementação de “supermercados” apoiam o fluxo num sistema de produção “puxada”, funcionando como *buffers* e distribuidores, mantendo controlado o *stock* entre as atividades onde se inserem. O uso do sistema “Puxar”, conceito explicado no capítulo 3, é uma parte integrante no processo *Kanban*, e permite que o movimento de matéria de uma tarefa para a outra seja pedida pela de jusante apenas quando a necessita, evitando assim inventários desnecessários.

Propõe-se então a implementação deste conceito no fluxo analisado, mediante a implantação de um “supermercado” na tarefa de execução de roços. Fazendo o registo da quantidade de roço executado (por metro linear), e sabendo o diâmetro dos tubos a instalar e o recobrimento de argamassa necessário pode ser estimado com algum grau de precisão a quantidade de argamassa a produzir no tapamento dos roços. Os operários registam num sistema digital a quantidade de roço efetuado e rapidamente o controlo de produção calcula a quantidade de argamassa precisa, e informa a quem executa o tapamento de roços a quantidade de argamassa a produzir.

MAPA DO ESTADO DO FLUXO FUTURO (EXEMPLO)

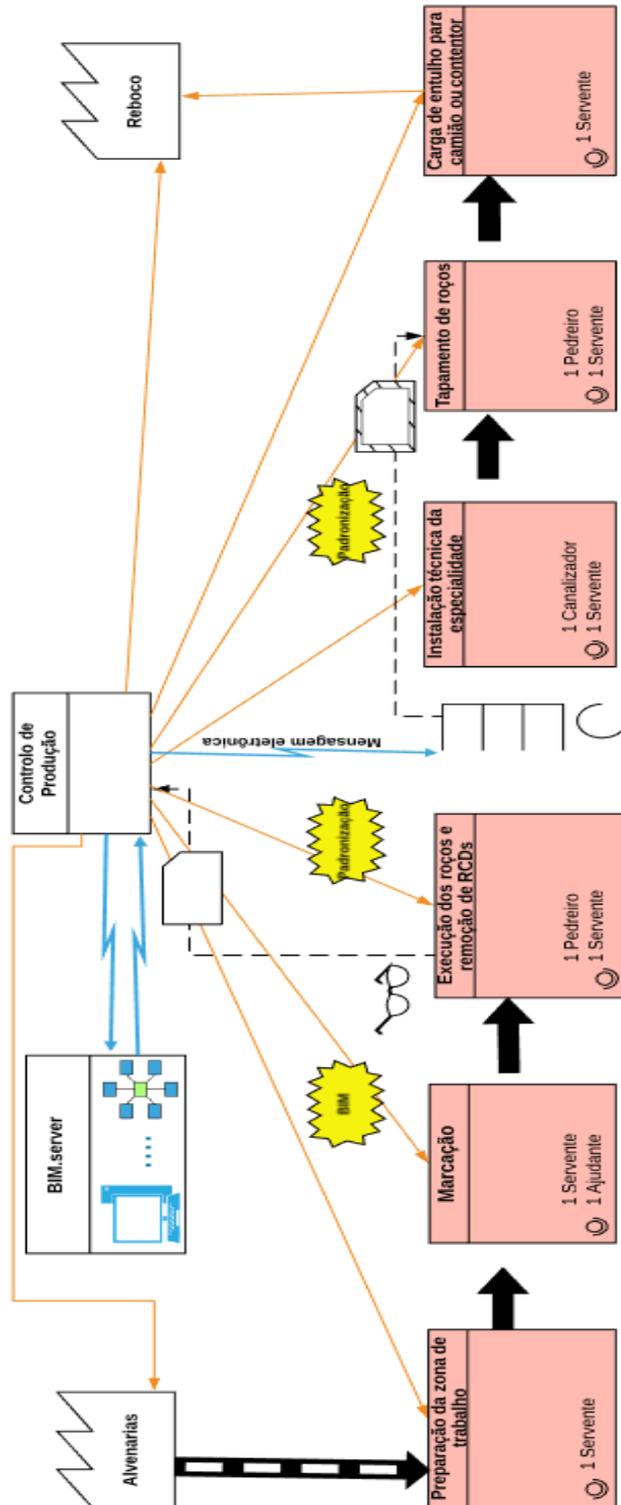


Figura 5.11 - Mapa do Estado do Fluxo Futuro

6

CONCLUSÃO

6.1. CONSIDERAÇÕES

A abertura de roços é uma atividade que frequentemente não é tida em conta no planeamento de projetos, o que pode levar a deslizes no orçamento e prazos finais. Todas as atividades devem ser controladas. O controlo deve ser visto como uma ferramenta que facilita a auto correção e, o que leva a um aumento de produtividade de um projeto. Sem um sistema de controlo o impacto de uma atividade torna-se muito variável. “Um sistema de controlo deve possuir características de sensibilidade para detetar desvios ou discordâncias estabelecendo a comparação entre resultados efetivos e estimados, acompanhado de uma capacidade de resposta que resulta da preparação antecipada das ações corretivas a desencadear quando esses desvios ou discordâncias saiam fora dos limites considerados razoáveis.” [28]

Não foi possível fazer a implementação concreta das medidas propostas no Mapa do Estado do Fluxo Futuro, pelo que se fez apenas uma simulação. Comparado com o mapa do estado do fluxo atual, o mapa do estado do fluxo futuro demonstra uma melhoria no desempenho geral.

A abertura de roços é uma atividade pouco complexa, na medida em que, a sua “decomposição” na fase de execução é muito simples levando a que as medidas propostas sejam um pouco limitadas, ainda assim estas vão indubitavelmente otimizar o fluxo do processo construtivo e auferir um aumento de produtividade.

A medida de implementação primacial é a integração de BIM no processo. Esta medida responde praticamente à totalidade dos problemas levantados; proporciona: benefícios claros ao fluxo, com particular destaque na propagação de alterações rápida e direta, automatização de fluxos de trabalho, compilação da informação relevante e integração de processos de produção e de gestão documental que resultam numa economia de esforços ao nível administrativo. De referir que se trata única e exclusivamente da análise de uma tarefa, a ampliação para todo o projeto multiplica as suas potencialidades.

A implementação de um sistema *kanban*, é uma medida cuja execução levanta algumas dúvidas, e que só ficaria validada caso fosse verdadeiramente testada.

6.2. CONCLUSÕES GERAIS

Foi realizado o devido enquadramento da filosofia *Lean* na produção e na construção e apresentados alguns conceitos, princípios e ferramentas neste contexto. Explorou-se com mais detalhe a ferramenta VSM (Mapeamento do Fluxo de Valor), evidenciando as adaptações necessárias para a sua aplicação na construção. Ficou patente que as particularidades do *modus operandi* da construção tornam a aplicação

direta do VSM impossível, assim foram explicadas as maiores limitações e proposta uma possível abordagem da sua aplicação.

A principal limitação nesta dissertação foi sem dúvida alguma a ausência de dados do caso de estudo, justificada pelo reduzido tempo e pelo difícil acesso a dados concretos, o que fez com que a implementação do modelo fosse bastante teórica.

Ainda assim, foi feito com bastante clareza o levantamento dos problemas e principais falhas no processo construtivo de abertura de roços em paredes. Mais do que a identificação de desperdícios substanciais, como sobreprodução, tempos de espera, moção ou defeitos, o mapeamento do fluxo permitiu visualizar as causas ou origens destes desperdícios.

6.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As medidas de melhoria propostas são aplicáveis a muitos outros processos construtivos, pelo que se espera ter conseguido identificar oportunidades de melhoria para trabalhos futuros nesta área.

Para desenvolvimento futuro, seria interessante proceder à elaboração do mapeamento do fluxo de valor num nível alto, ou seja, de um ponto de vista mais global do processo e ainda validar a aplicação de um sistema *kanban*, para o cálculo das quantidades de material na construção.

Seria também apropriado fazer um estudo sobre a implementação de Lean nos diversos níveis hierárquicos que compõem uma empresa da construção civil, desde os altos quadros aos operários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TEICHOLZ, Paul. 2004. Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies
- [2] BAGANHA, M. I., MARQUES, J. C., GÓIS, P. (2001). O Sector da Construção Civil em Portugal: 1990- 2000. Relatório 1-P European Commission, 5th Framework Programme Improving Human Potential and Socio-Economic Knowledge Base Key Action for Socio-Economic Research.
- [3] SINK, D.Scott (1985). Productivity Management: Planning, Measurement and Evaluation, Control and Improvement. John Wiley & Sons, Inc, EUA
- [4] RAMOS, António Nogueira (2003) Produtividade. Manual Pedagógico PRONACI. AEP Associação Empresarial de Portugal
- [5] INTERGRAPH. Factors Affecting Construction Labor Productivity *Managing Efficiency in Work Planning*. Disponível em:
https://www.intergraph.com/assets/global/documents/SPC_LaborFactors_WhitePaper.pdf
- [6] DOZZI, S.P.; ABOURIZK, S.M. (1993) . Productivity in construction. Disponível em:
<http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCan/nrcc37001.pdf>
- [7] KRUGMAN, Paul (1994). The Age of Diminishing Expectations *Defining and measuring productivity*. Disponível em: <http://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/40526851.pdf>
- [8] CARVALHO, Dinis (2003). Produtividade Portuguesa. Disponível em:
<http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Produtividade/produktividade.html>
- [9] CROWLEY, A. (1998). Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry.
- [10] Haitao Yu; Mohamed Al-Hussein; Saad Al-Jibouri; Avi Telyas(2013). Case study - Lean Transformation in a Modular Building Company: A Case for Implementation. Disponível em:
http://users.encs.concordia.ca/home/h/h_abaeia/Modular%20Construction/report%20in%20progress/Mohamed%20AlHussein/Lean%20Transformation%20in%20a%20Modular%20Building%20Company.pdf
- [11] JONES, D.T.; WOMACK, J.P. (2007), Lean Solutions. New York: Simon & Schuster
- [12] YAXU LI (2015). Value Stream Mapping (VSM) in Construction and Manufacturing Industry: a structured literature review and comparative analysis. Disponível em:

<http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/156276/LI-THESIS-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[13] LAYEEQUDDIN, Khaja; KHATOON, Suebha (2017). Lean Construction – Application of Value Stream Mapping on Infra Structure Project . Disponível em:

<http://www.ijettjournal.org/2017/volume-45/number-1/IJETT-V45P208.pdf>

[14] PASQUALINI, Fernanda; ZAWISLAK, Paulo António. Value Stream Mapping in Construction - *a case study in a brazilian construction company*. Disponível em:

<https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-be8dba2b-6056-407f-9c67-ed9de5fdeb09.pdf>

[15] CRAWFORD, Mark (2016). 5 Lean Principles Every Engineer Should Know. Disponível em:

<https://www.asme.org/engineering-topics/articles/manufacturing-design/5-lean-principles-every-should-know>

[16] Haitao Yu; Tarry Tweed; Mohamed Al-Hussein; Reza Nasser (2009). Development of Lean Model for House Construction Using Value Stream Mapping. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/245283795_Development_of_Lean_Model_for_House_Construction_Using_Value_Stream_Mapping

[17] BERGSTRAND, Karin; APPEL, Viktor (2016). Shorter project *lead times* in construction.

Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952127/FULLTEXT01.pdf>

[18] KOSKELA, Lauri (1992). Application of the New Production Philosophy to construction. Disponível em: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf>

[19] GONÇALVES, Wilma Karina Fernandes (2009). Utilização de Técnicas *Lean e Just in Time* na Gestão de Empreendimentos e Obras. Disponível em:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395138970511/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>

[20] NISHIDA, Lando. 2007. Reduzindo o *lead time* no desenvolvimento de produtos através da Padronização. [Internet]. Lean Institute Brasil.

[21] MARTIN, K.; OSTERLING, M. (2013). Value Stream Mapping: How to visualize work and align leadership for Organizational Transformation. New York: McGraw-Hill.

[22] ROTHER, Mike; SHOOK, John; WOMACK, Jim; JONES, Dan (2003). Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. 3rd edition, Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA

[23] www.ordemengenheiros.pt

[24] CHIARINI, A. (2012). Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office: From the Tools of the Toyota Production System to Lean Office. Springer

- [25] BJERKE, Tuva Aspestrand (2015). Disponível em: <http://docplayer.net/amp/34668985-.html>
- [26] McGraw-Hill Construction (2012). The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007–2012). Disponível em: <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2012/12/MHC-Business-Value-of-BIM-in-North-America-2007-2012-SMR.pdf>
- [27] MARTINS, João Pedro da Silva Poças (2009). Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção - *Aplicação ao Licenciamento automático de Projetos*. Disponível em: <https://books.google.pt/books?id=cLRG-C1UBSkC&pg=PA60&lpq=PA60&dq=intervenientes+do+processo+construtivo+problemas+produtividade&source=bl&ots=MorYdbCmZL&sig=KK47czpVbfjY9Gu0OfURHL6v61M&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwjsgvHQkO3bAhWqHpoKHd6hCrc4ChDoAQgqMAE#v=onepage&q=intervenientes%20do%20processo%20construtivo%20problemas%20produtividade&f=false>
- [28] Incumprimento dos prazos na construção. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7292/1/PhD_Tese_JPC.pdf
- [30] LOPES, Pedro Alexandre Amaral (2013). Integração do Planeamento – Orçamentação na Construção. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146001242/Tese.pdf>
- [31] SOARES, Filipe Lopes (2012). Comportamento mecânico de alvenaria. A influência de abertura de roços. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/11050/1/disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [32] (2006) Remodelação do Estaleiro da Câmara Municipal de Viana do Alentejo. Disponível em: <http://www.cm-vianadoalentejo.pt/pt/site-municipio/atividade-municipal/contratacao-publica/Documents/Empreitada%20de%20Remodela%C3%A7%C3%A3o%20do%20Estaleiro%20Municipal%20de%20Viana%20do%20Alentejo/ElectricidadeEscrita.pdf>
- [33] GECORPA – Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico (2003). Erros e Defeitos na Reabilitação dos Edifícios e na Conservação e Restauro do Património Edificado. Entrevista: Arq. José Aguiar. Disponível em: http://www.gecorpa.pt/Upload/Revistas/Rev20_Revista_Completa.pdf
- [34] NETO, Mário (2012). Vícios, defeitos e não conformidades na construção – *Seminário Integrado sobre Direito do Urbanismo*. Disponível em: http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20120126_mneto_19347417944f3e1d73b51f8.pdf
- [35] AUSTER, David Lyrio (2015). Uso do BIM para Compatibilização e Modelagem de projetos hidráulicos prediais. Disponível em: <http://www.gpsustentavel.ufba.br/downloads/BIM%20Instala%C3%A7%C3%B5es%20hidr%C3%A1ulicas.pdf>
- [36] THOMAS, H. R., Maloney, W. F., Horner, R. M. W., Smith, G. R., Handa, V. K., and Sanders, S. R. (1990). "Modeling construction labor productivity." J. Constr. Engrg. Mgmt., ASCE
- [37] Building Information Modeling (BIM) Disponível em: <http://www.vulcanss.com>
- [38] <https://www.construction.com/>
- [39] Womack, J.P. and Jones, D.T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. Simon and Schuster
- [40] Roberto J. Arbulu and Iris D. Tommelein (2002). Value Stream Analysis of Construction Supply Chains: Case Study On Pipe Supports used in Power Plants

[41] Patricia Stella Pucharelli Fontanini (2004). Mentalidade enxuta no fluxo de suprimentos da Construção Civil - aplicação de macro Mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio

[42] www.construirbarato.com.br