



UFAL - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA – UNIDADE EDUCACIONAL DE PENEDO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Diewelly Maria Silva

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE, CAPACIDADE E PROPOSTA DE
IMPLANTAÇÃO DO LEAN CONSTRUCTION EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO
GRANÍTICA**

Penedo - AL

2022

DIEWELLY MARIA SILVA

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE, CAPACIDADE E PROPOSTA DE
IMPLANTAÇÃO DO LEAN CONSTRUCTION EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO
GRANÍTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso superior de Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Alagoas- Campus Arapiraca- Unidade de Ensino Penedo, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Msc. Susane de Farias Gomes

Penedo - AL

2022



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Unidade Educacional Penedo
Biblioteca Setorial Penedo-BSP

S586a Silva, Diewelly Maria
Avaliação da estabilidade, capacidade e proposta de implantação do Lean Construction em obras de pavimentação granítica / Diewelly Maria Silva. – Penedo, AL, 2022.
70 f.: il.

Orientador(a): Prof.^a Ma. Susane de Farias Gomes.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Unidade Educacional Penedo, Penedo, AL, 2022.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus Arapiraca*).
Referências: f. 63-67.
Apêndices: f. 68-70.

1. Análise de Produção. 2. Programas de Produção. 3. Obras. 4. Pavimentação. I. Gomes, Susane de Farias. II. Título.

CDU 658.5



ANEXO 3

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ata da 17ª (décima sétima) defesa de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção de **Diewelly Maria Silva**.

No dia vinte e um de janeiro de dois mil e vinte e dois, reuniu-se a banca examinadora do Trabalho apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção do aluno em epígrafe, intitulada: **Avaliação da Estabilidade, Capacidade e Proposta de Implantação do *Lean Construction* em Obras de Pavimentação Granítica**. Compuseram a banca examinadora: orientadora **MSc. Susane de Farias Gomes**; avaliadora 2 **MSc. Larissa Farias Almeida**, e avaliador 3 **Dr. Tulio Fidel Orrego Rodriguez**.

Após exposição oral do referido aluno(a), o(a) mesmo(a) foi arguido(a) pelos componentes da banca que após a arguição, reuniram-se reservadamente e decidiram **APROVAR** com média **9,68 (Nove virgula sessenta e oito)** o trabalho apresentado.

Para constar, eu, Coordenador do Curso de graduação em Engenharia de Produção, redigi a presente ata, que aprovada pela banca e pelo Coordenador de TCC do Curso de Engenharia de Produção, seguirá assinada por todos.

Penedo, 21 de janeiro de 2022.

Orientador(a): _____

Avaliador(a) 2: _____

Avaliador(a) 3: _____

Coord. do Curso _____

Coord. de TCC do curso: _____

Aluno(a): _____

AGRADECIMENTOS

Em um primeiro momento, agradeço aos meus pais, pela minha vida e por terem se esforçado para me dar um estudo. A minha mãe Luciene por sempre batalhar por mim e me apoiar. A meu pai Luiz Dermeval, que não pode ver essa minha conquista em vida, mas que sinto que onde o senhor estar, está torcendo e muito orgulhoso de mim. Aos meus irmãos, Dernei e Diego, por me ajudar e me dar forças em momentos difíceis.

Agradeço ao meu namorado Josenaldo, por seu companheirismo e paciência, pela parceria nos momentos mais difíceis e por me dar apoio incondicional nesta caminhada.

Agradeço ao meu amigo Elenilson Rivando, pela ajuda nos momentos em que precisei.

Agradeço à Universidade Federal de Alagoas, pelo seu ensino de qualidade e gratuito permitiram que eu cursasse Engenharia de Produção na cidade em que nasci.

Agradeço a minha orientadora, Prof. MSc. Susane de Farias Gomes, pela sua dedicação e orientação na caminhada rumo ao conhecimento.

Aos membros da banca, MSc. Larissa Farias Almeida, e Dr. Tulio Fidel Orrego Rodriguez pelos comentários e sugestões apresentadas com o objetivo de valorizar o trabalho;

Por fim, agradeço a Deus, por me dar forças para continuar.

RESUMO

O setor da construção civil é conhecido pelos seus elevados índices de perdas nos processos (LIMA, 2018), uma das alternativas para a redução de perdas nesse setor é a utilização do *Lean Thinking* ou Mentalidade Enxuta (ME), uma filosofia que busca aumentar a satisfação dos clientes através de suas ferramentas, e tem sido aplicado em diversas áreas com objetivo de minimizar os desperdícios. Neste cenário, este trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade e a capacidade dos processos de execução de uma obra de pavimentação granítica no estado de Alagoas, como também propor as práticas do *Lean Construction* através da análise do mapa de fluxo de valor. A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa que presta serviços de pavimentação, e no estudo exploratório foi possível identificar os indicadores com base nos 4M (mão de obra, materiais, máquinas e métodos). Os resultados indicaram que todos os cinco indicadores avaliados foram estáveis, porém apenas um indicador demonstrou capacidade de atender aos padrões estabelecidos. Com base nessa avaliação, foram propostas ações para redução de perdas e melhora da estabilidade e capacidade dos processos, por meio do uso de ME. Vale salientar que, para fazer a análise da avaliação da estabilidade deve-se consequentemente, avaliar a capacidade o processo, pois não é o suficiente o processo ser apenas estável, precisa atender aos parâmetros estabelecidos pelo cliente.

Palavras-chave: Mentalidade Enxuta; Estabilidade; Capacidade; Fluxo de valor; Pavimentação

ABSTRACT

The civil construction sector is known for its high loss rates in processes (LIMA, 2018), one of the alternatives for reducing losses in this sector is the use of Lean Thinking or Lean Thinking (LT), a philosophy that seeks to increase customer satisfaction through its tools, and has been applied in several areas in order to minimize waste. In this scenario, this work aims to analyze the stability and capacity of the execution processes of a granitic paving work in the state of Alagoas, as well as to propose Lean Construction practices through the analysis of the value stream map. The research was carried out in a company that provides paving services, and in the exploratory study it was possible to identify the indicators based on the 4M (labor, materials, machines and methods). The results indicated that all five indicators evaluated were stable, but only one indicator demonstrated the ability to meet the established standards. Based on this assessment, actions were proposed to reduce losses and improve the stability and capacity of the processes, through the use of LT. It is noteworthy that, in order to analyze the stability assessment, the capacity of the process must therefore be assessed, as it is not enough for the process to be just stable, it needs to meet the parameters established by the client.

Keywords: Lean Mindset; Stability; Capability; Value stream; Paving

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1- Modelo de processo LC	18
Figura 2 - Diagrama De Causa E Efeito Dos 4 M.....	21
Figura 3- Exemplo de mapa fluxo valor	24
Figura 4 - Modelo de carta de controle	26
Figura 5- Regularização de subleito em andamento	36
Figura 6- Assentamento de meio fio.....	37
Figura 7- Espalhamento colchão de areia	37
Figura 8- Assentamento de pedra granítica sobre colchão de areia.....	38
Figura 9- Rejunte de pavimentação granítica.....	38
Figura 10- Rua executada em pavimentação granítica.....	39
Figura 11- Processo produtivo pavimentação granítica	39
Figura 12- Ícones e símbolos do MFV	40
Figura 13- Mapa de fluxo de valor atual.....	41
Figura 14- Mapa de fluxo de valor futuro.....	60
Figura 15- Uso indevido da população na rua em execução	61

GRÁFICOS

Gráfico 1- Índice de absenteísmo registrado no período	43
Gráfico 2- Índice de rotatividade registrado no período.....	45
Gráfico 3- Carta de controle de absenteísmo	45
Gráfico 4- Carta de controle de rotatividade	46
Gráfico 5- Índice de disponibilidade média dos equipamentos.....	48
Gráfico 6- Carta de controle de disponibilidade	49
Gráfico 7- Carta de controle de disponibilidade	52
Gráfico 8- Carta de controle do método.....	54

QUADROS

Quadro 1- Resumo dos indicadores avaliados na obra	31
Quadro 2- Elementos associados aos 4m em cada etapa do fluxo de valor	42
Quadro 3- Resumo das inspeções dos produtos entregues durante a obra	51
Quadro 4- Resumo da nota final de cada vistoria	53
Quadro 5- Resumo dos indicadores avaliados na obra	55
Quadro 6- Principais resultados esperados	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faltas e atrasos ocorridos durante a obra (medidos em horas)	43
Tabela 2- Demissões e contratações durante a obra	44
Tabela 3- Análise de Estabilidade e Capacidade de Mão de obra	46
Tabela 4- Disponibilidade média dos equipamentos durante a obra	47
Tabela 5- Análise de estabilidade e capacidade das máquinas	49
Tabela 6- Índice de desempenho dos fornecedores	50
Tabela 7- Análise de estabilidade e capacidade dos fornecedores	52
Tabela 8- Análise de estabilidade e capacidade de método.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4M	Mão de obra, materiais, máquinas e método
CEP	Controle estatístico do processo
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba 5ª SR
DME	Disponibilidade média dos equipamentos
IDF	Índice de desempenho dos fornecedores de materiais
LC	Lean Construction
LIC	Limite Inferior de Controle
LSC	Limite Superior de Controle
ME	Mentalidade Enxuta
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
PTS	Programação de Trabalho Semanal
RDO	Registro Diário de Obra
STP	Sistema Toyota de Produção
TFV	Transformação de Fluxo de Valor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Estrutura do trabalho.....	12
1.2 Contextualização e justificativa	12
1.3 Problema de pesquisa.....	13
1.4 Objetivo geral.....	14
1.5 Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 <i>Lean thinking</i>	15
2.2 O sistema toyota de produção - STP.....	16
2.3 <i>Lean Construction</i>	17
2.4 Perdas na construção civil.....	19
2.5 Conceito de estabilidade	20
2.5.1 Estabilidade de mão de obra.....	21
2.5.2 Estabilidade de máquinas	21
2.5.3 Estabilidade de materiais.....	22
2.5.4 Estabilidade de método.....	22
2.6 Trabalho padronizado	22
2.7 Ferramenta de visualização do Lean thinking	23
2.7.1 Mapa fluxo de valor.....	24
2.7.2 Controle estatístico do processo (CEP)	25
2.7.3 Cartas de Controle	26
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	27
3.1 Coleta de dados.....	27
3.2 Empresa estudada.....	28
3.3 Mapa de fluxo de valor do estado atual	28
3.4 Avaliar a estabilidade e capacidade no fluxo de valor.....	29

3.4.1	Mão de Obra.....	29
3.4.2	Máquinas	29
3.4.3	Material.....	30
3.4.4	Métodos	31
3.5	Indicadores utilizados e valores recomendados.....	31
3.6	Análise estatística dos resultados.....	32
3.7	Mapa de fluxo de valor do estado futuro	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Obra analisada.....	35
4.2	Mapa de fluxo de valor atual	40
4.3	Avaliação da estabilidade nas etapas de fluxo de valor.....	42
4.3.1	Avaliação da estabilidade da mão de obra	43
4.3.2	Avaliação da estabilidade das máquinas	47
4.3.3	Avaliação da estabilidade dos materiais.....	50
4.3.4	Avaliação da estabilidade do método	53
4.3.5	Resumo dos indicadores estudados	55
4.4	Propostas de melhoria para a estabilidade do fluxo de valor.....	56
4.4.1	Propostas de melhoria para a mão de obra	56
4.4.2	Propostas de melhoria para as máquinas	56
4.4.3	Propostas de melhoria para os materiais	56
4.4.4	Propostas de melhoria para o método.....	57
4.5	Mapa de fluxo de valor futuro	57
4.6	Dificuldades na proposta de implantação de práticas do <i>Lean construction</i> ..	61
5.	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICES	68
	APÊNDICE A- Entrevista com o coordenador e encarregado da obra.....	68

APÊNDICE B- <i>Checklist</i> de avaliação dos fornecedores de materiais	69
APÊNDICE C- <i>Checklist</i> de vistoria da obra.....	70

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é feita a contextualização e justificativa quanto à relevância da avaliação da estabilidade do fluxo de valor sob uma perspectiva *Lean*, como também a importância da implementação das práticas *Lean* em obras de pavimentação granítica, levando-se em conta a realidade da indústria da construção civil no Brasil. Além disso, são mostrados o problema de pesquisa, como também o objetivo geral e específico deste trabalho, assim como a estrutura do mesmo.

1.1 Estrutura do trabalho

O presente estudo foi desenvolvido a partir de 5 capítulos. Neste primeiro, foram apresentadas a sua justificativa, o problema de pesquisa e os objetivos.

O capítulo seguinte apresenta a revisão de literatura que embasa o modelo de Mentalidade Enxuta (ME), onde são apresentados aspectos referentes à origem do *Lean*, como também as perdas da construção. Também de revisão de literatura são apresentados os fundamentos da estabilidade do processo de produção e as ferramentas de visualização do *Lean Thinking*.

No capítulo 3 são discutidos os métodos e procedimentos da pesquisa, apresentando as etapas percorridas para a obtenção dos resultados.

O capítulo 4 relata as etapas dos estudos exploratórios e estudo de caso, bem como as avaliações de cada fase dos 4M, proposta de melhoria para a estabilidade, o Mapa de Fluxo de Valor Atual e Futuro e quais as dificuldades em utilizar algumas práticas do *Lean construction*, de acordo com os parâmetros avaliados anteriormente.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as sugestões para futuros estudos.

1.2 Contextualização e justificativa

A construção civil brasileira sempre foi objeto de críticas em decorrência aos seus elevados índices de custos de produção, desperdícios de materiais e da baixa produtividade. Consequentemente, compõe uma parte importante da economia brasileira, responsável por 7% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (GUGGENBERGER; ROTONDARO, 2021). Com isso, é um dos setores que mais recebem investimento, já que uma das principais formas de escoamento de produção é por meio das malhas rodoviárias.

Os desperdícios têm levado o setor da construção civil a adotar práticas baseadas nos sistemas de produção enxuta, para minimizar essas altas perdas de produção. Esse modelo, mais

tarde chamado de *Lean Manufacturing*, tem o intuito de utilizar o mínimo de recursos, reduzindo ou até eliminando atividades que não agregam valor, por meio de uma gama de ferramentas, promovendo uma melhoria contínua em seus processos produtivos. Koskela (1992) demonstrou como os princípios do *Lean* podem ser úteis para a Construção Civil, dando origem ao *Lean Construction*.

Essa metodologia surge como uma nova filosofia de gestão de produção voltada à construção civil, mudando a forma de planejar e de construir por meio de fluxos de processos (PÁDUA, 2014). Esse método tem como finalidade o aumento da competitividade com a identificação e fim das perdas, não apenas de produtos defeituosos, como também as perdas de recursos, mão de obra e equipamentos em atividades que não agregam valor.

Contudo, geralmente as transformações no setor da construção civil são mais longas do que na indústria da manufatura (PICCHI; GRANJA, 2004). Fica evidente, pela pequena parcela do potencial de aplicação da mentalidade enxuta explorada atualmente. Percebe-se que são poucas as pesquisas que analisam a implantação dos princípios do *Lean* relacionados à pavimentação granítica, por este ser um setor com uma significativa dificuldade de se realizar mudanças, devido à relutância de adaptação da mão de obra. Este estudo realiza uma análise dos parâmetros de produção e controle de uma obra de pavimentação granítica, observando sua estabilidade por meio de indicadores, a fim de propor alguns conceitos e ferramentas *Lean*, visando o aumento da produtividade, como também um maior controle da obra, a fim de otimizar o sistema construtivo.

1.3 Problema de pesquisa

A estabilidade é a base para as empresas se certificarem da qualidade dos seus produtos e processos. Sua ausência provoca uma variabilidade nos processos, tendo ligação direta com a mudança da demanda ou dos produtos desenvolvidos diariamente (KAMADA, 2010), acarretando em desperdícios. Por isso, é necessário a avaliação da estabilidade do fluxo de valor sob a perspectiva *Lean*, a partir de indicadores apontados e avaliados, faz-se necessário considerar, no mínimo, a estabilidade de cada um dos 4M (mão de obra, material, máquina e método) para a identificação das perdas do processo construtivo (LIKER, 2007; BULHÕES, 2009).

Apesar da importância da estabilidade, existem poucos estudos analisando-a, seja na construção civil ou em outros setores. O trabalho de Freitas (2015) apresenta a avaliação da estabilidade do Fluxo de Valor sob a perspectiva *Lean* na área de infraestrutura e pavimentação, através dos 4M. Já Bulhões (2009) propôs diretrizes para a implantação de fluxo contínuo na

construção civil, com base nos conceitos e ferramentas do *Lean Thinking*, aplicados na indústria de pré-moldados, onde a estabilidade foi avaliada e implantada do sistema *Last Planner*.

Geralmente os métodos de avaliação da estabilidade são aplicados com base nas ferramentas estatísticas e em técnicas isoladas do fluxo de valor, restringindo-se apenas à avaliação das variabilidades que levam a produtos defeituosos, não considerando outros impactos. Existem estudos que tem aplicado ferramentas do *Lean* para alcançar a estabilidade (BALLARD; HOWELL, 1997; FONTANINI, 2004; MCGEE, 2005; NOGUEIRA, 2007).

1.4 Objetivo geral

Avaliar a estabilidade do fluxo de valor para propor práticas enxutas em uma obra de pavimentação granítica, por meio de um estudo de caso em uma obra localizada no município de Lagoa da Canoa em Alagoas, identificando suas particularidades, na logística do canteiro e na produtividade da mão de obra.

1.5 Objetivos específicos

São propostos como objetivos específicos:

- Definir o objeto de estudo;
- Avaliar a estabilidade do fluxo de valor, sob a ótica *Lean*;
- Avaliar as particularidades das práticas enxutas em obras de pavimentação granítica;
- Propor práticas de *Lean construction* em uma obra de pavimentação granítica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentado os aspectos relacionados aos fundamentos teóricos para a estabilidade do processo.

2.1 *Lean thinking*

O termo “mentalidade enxuta” (*Lean Thinking*) surgiu na década de 90, anos após a origem do Sistema Toyota de Produção (TPS – *Toyota Production System*), através de uma abordagem voltada para gestão empresarial, apresentado por Womack e Jones (1996), não se contendo apenas a um sistema de produção, e sim, um sistema de negócios, abrangendo a empresa como um todo (ANTUNES JUNIOR, 1995).

O *Lean Thinking* está ligado à diminuição dos desperdícios e a criação de valor, em comparação com a produção em massa, ou seja, metade do esforço dos operários, metade do espaço para fabricação, fazendo com que tenha o menor estoque possível, com menor número de produtos defeituosos além de aumentar a produção (WOMACK; JONES; ROOS, 1998).

Em 1996, Womack e Jones apresentaram cinco princípios para explicar o *Lean Thinking* (LT), são eles: Valor, fluxo de valor, fluxo contínuo, produção puxada e a busca à perfeição. Definições sobre estes princípios são apresentados a seguir:

- Valor: Está relacionado ao processo de identificação e satisfação das necessidades do cliente; é, basicamente, deixar o cliente definir o que é valor em seu produto. Para que a metodologia ajude a alcançar os resultados esperados, é importante avaliar o que o cliente já demonstrou que valoriza sobre o produto que chega até ele.
- Fluxo de valor: Relaciona-se com a necessidade de identificar as cadeias da produção do processo de formação de valor. Com esse princípio, é possível constatar o que não é essencial, ou seja, os desperdícios que podem ser eliminados para que o foco seja o que realmente gera valor.
- Fluxo Contínuo: Tem foco nas modificações do processo, para que ocorra de forma contínua, eliminando as atividades que não agregam valores. Reduzindo insumos, custos, tempos e espaços.
- Produção Puxada: Esse princípio está diretamente relacionado ao conceito de *Just in Time*, em que o objetivo é diminuir a quantidade de estoque. Faz com que o cliente puxe a produção, não o mercado, dessa forma a produção é vendida com agilidade, finalizando o ciclo de produção sem precisar de ações para queima de estoque excedente.

- Busca pela Perfeição: Está relacionado ao processo de melhoria contínua, ou seja, o método *Kaizen*, onde é um processo que busca reduzir esforço, tempo, espaço, custo e erros para oferecer o que o consumidor realmente deseja, ele não tem fim, como dizem Jones & Womack, é um caminho incremental.

O LT era aplicado inicialmente em companhias do ramo automotivo. Devido ao seu sucesso com os ganhos de tempo e a redução dos custos, empresas de outros setores começaram a se interessar pelo *Lean*. Assim, no começo da década de 90, iniciaram-se pesquisas visando à implementação do LT na indústria da construção civil (PICCHI, 2004).

2.2 O sistema toyota de produção - STP

Com o fim da guerra, na década de 50, o Japão buscava formas para que suas indústrias continuassem ativas no mercado e alavancar a economia nacional que ficou destruída com o conflito. Nesse cenário, o governo passou a incentivar todas as iniciativas de estudo da qualidade e melhoria da produtividade. Foi então que a *Toyota Motor Company*, liderada por Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, buscou desenvolver um método que melhorasse a produção em massa, criada por Henry Ford (LIKER, 2005).

Assim surgiu o STP, ou Produção Enxuta (*Lean Manufacturing*), onde tem como principal objetivo produzir mais gastando menos. Segundo Shingo (1996), esse sistema apresenta como características principais:

- Diminuição de custos. Para se manter no mercado é preciso eliminar completamente as perdas.
- A produção em pequenos lotes, diversidade de produtos, entrega rápida, somente podem ser satisfeitas ao passo que se eliminem as perdas por superprodução.
- Redução de custos da mão de obra;
- Planejamento a longo prazo.
- O sistema *Kanban*, ferramenta visual que informa as necessidades de produção ou material, proporciona uma técnica de controle simples, altamente útil e flexível.

A Toyota buscou construir um sistema totalmente inovador. E o primeiro passo para implementar a filosofia *Lean* é verificar quais atividades que agregam e não agregam valor no processo produtivo do produto (SAHOO et al., 2008). Segundo Womack & Jones (1996), foram identificados sete desperdícios na produção por Shigeo Shingo, os quais devem ser eliminados ou minimizados no Sistema Toyota de Produção, são eles:

1. Superprodução: Produzir excessivamente, resultando em um fluxo pobre de peças e informações;

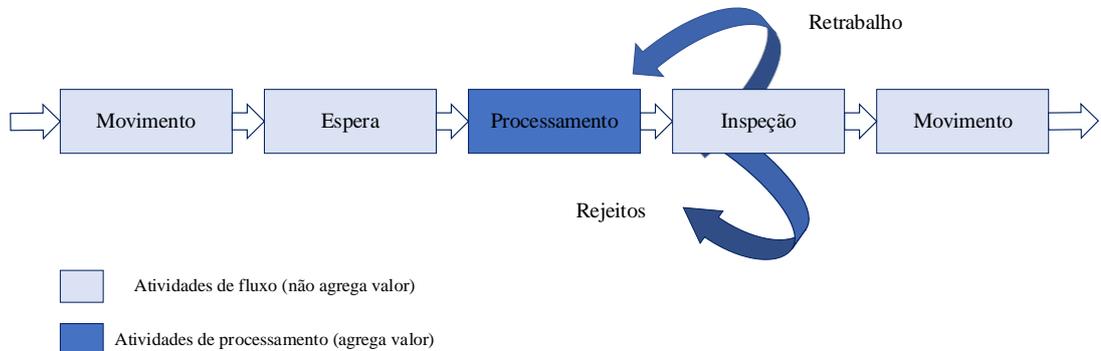
2. Espera: Tempo de espera para materiais, pessoas, equipamentos ou informações;
3. Transporte: Movimento excessivo de pessoas, informação ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia;
4. Processos Inadequados: Utilização do jogo errado de ferramentas, sistemas ou procedimentos, geralmente quando uma aproximação mais simples pode ser mais efetiva;
5. Inventário desnecessário: Armazenamento excessivo e falta de informação ou produtos;
6. Movimentação desnecessária: Movimentação de pessoas que não agrega valor;
7. Produtos Defeituosos: Problemas frequentes nas cartas de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixa performance na entrega.

2.3 Lean Construction

A construção civil é um setor que se distingue da produção industrial de manufatura, mas a filosofia *Lean* procura conduzir de uma forma diferente de coordenar e agir, implementando a cultura e não normas fixas. Em 1992, através do trabalho do Finlandês Lauri Koskela, que publicou o artigo intitulado como *Application of the New Production Philosophy to Construction* pelo CIFE - *Center for Integrated Facility Engineering*, ligado à Universidade de Stanford nos Estados Unidos da América, propôs uma adequação dos princípios do sistema Toyota de produção para a construção civil, fazendo uma completa transformação no modelo tradicional utilizado até então. A partir disto, foi possível a aplicação do STP em indústrias que não sejam apenas de manufatura, adaptando características *Lean* à realidade das indústrias de construção civil (THÜRER; TOMAŠEVIĆ; STEVENSON, 2017). Esse sistema de produção, além de aumentar a competitividade, indica e elimina as perdas, chamado de *Lean Construction* (LC) Agora, as perdas não se concentram apenas a produtos defeituosos, mas também em perdas de recursos, como por exemplo, a mão de obra e equipamentos em atividades que não geram valor (NASCIMENTO, 2009).

Koskela (1992) apresenta o conceito de processo, correspondendo em atividades de transformação do material em produto, e fluxo, conforme a Figura 1.

Figura 1- Modelo de processo LC



Fonte: Adaptado Koskela (1992)

O modelo do fluxo é composto por atividades de processamento, inspeção, movimentação e espera. As atividades de fluxo, que envolvem tempo e custo, não agregam valor ao produto. A geração de valor está diretamente associada à satisfação do cliente, que está voltada para atividades de processamento. Portanto, um sistema só gera valor se as aplicações no processamento modificar a matéria-prima dos produtos pedidos pelos clientes (PÁDUA, 2014).

Para Koskela (2000) uma das dificuldades encontradas para adaptar o *Lean Manufacturing* para a construção civil, é que a filosofia fala sobre o fluxo contínuo, e esse fundamento é uma tarefa desafiadora aplicar na construção, uma vez que às fábricas não são fixas e sua produção muda de local a cada empreendimento, são definidos por diversas interrupções, gerando variados tipos de desperdícios e utilização inadequada dos recursos, não são sempre os mesmos trabalhadores e seus projetos mudam frequentemente, quando comparado com a indústria de manufatureira (BARROS NETO; ALVES, 2008).

Sendo assim, para que a Filosofia LC possa ser aplicada, Koskela (1992) apresenta uma série de princípios de modo a garantir que os processos sejam planejados, controlados e melhorados. São eles:

- 1) **Redução de atividades que não agregam valor:** Segundo, Koskela (1992) as atividades que agregam valor são definidas como atividades de conversão, elas são responsáveis por transformar materiais e informações no produto solicitado pelo cliente. Aquelas atividades que não agregam valor, são desperdícios, pois consomem tempo, recursos e espaço, como por exemplo, atividades e movimentação, espera e inspeção, por isso, reduzi-las é fundamental para diminuir os custos.

- 2) **Busca por agregar valor ao produto final:** Através do atendimento dos requisitos dos clientes, pois segundo Sarcinelli (2008), esse é um dos mais importantes princípios da LC. Com isso, o foco principal é a criação de um fluxo que identifique as necessidades do cliente, de modo que os requisitos possam ser analisados e cumpridos (WIGINESCKI, 2009).
- 3) **Redução da variabilidade:** Padronizando processos e produtos, redução das interrupções de trabalho e retrabalho visando manter a qualidade;
- 4) **Redução do tempo de ciclo de produção:** Através de uma centralização da hierarquia organizacional;
- 5) **Eliminação dos processos desnecessários:** Quanto maior a complexidade de um sistema, maior o custo de produção envolvido, o ideal é simplificar o sistema, reduzindo o número de partes de um produto ou a quantidade de fases em um fluxo de materiais ou informação (WIGINESCKI, 2009);
- 6) **Aumento da flexibilidade de execução do produto:** Desenvolvendo uma equipe multifuncional;
- 7) **Transparência do processo:** O aumento da visibilidade dos funcionários em relação ao processo promove a redução de erros;
- 8) **Controle do processo como um todo:** Busca a otimização do fluxo de trabalho, identificando e corrigindo desvios;
- 9) **Melhoria Contínua do processo:** Redução de desperdício em paralelo com atividades que agreguem valor ao produto;
- 10) **Balanceamento dos fluxos e conversões:** Uma vez que um fluxo melhorado impacta diretamente no custo de equipamentos;
- 11) **Benchmarking:** É baseado na melhoria através de um processo de pesquisa entre empresas do mesmo setor para analisar como seus produtos, processos e serviços estão desempenhando em relação aos concorrentes. Com base nas informações coletadas, devem ser incorporadas as melhores técnicas, copiando ou modificando as boas práticas nos próprios subprocessos, de modo a ultrapassar as outras empresas (WIGINESCKI, 2009).

2.4 Perdas na construção civil

A construção civil é uma manufatura de grande visibilidade econômica no país, no entanto os números de desperdícios do setor são excessivos (LIMA, 2018), pode-se pensar que as perdas na construção civil compreendem apenas em entulhos. Porém, os desperdícios vão

desde materiais até a ausência de planejamento. Bolviken, Rooke e Koskela (2014) expõe uma classificação de perdas na construção civil baseada na teoria de Transformação de Fluxo de Valor (TFV) para gerenciamento de produção. Estas perdas, referem-se desde à administração do projeto ao sistema de informação, são elas:

- O desperdício de material
- O uso inadequado de determinados materiais
- O uso inadequado de máquinas, trabalho e energia
- Perdas Financeiras

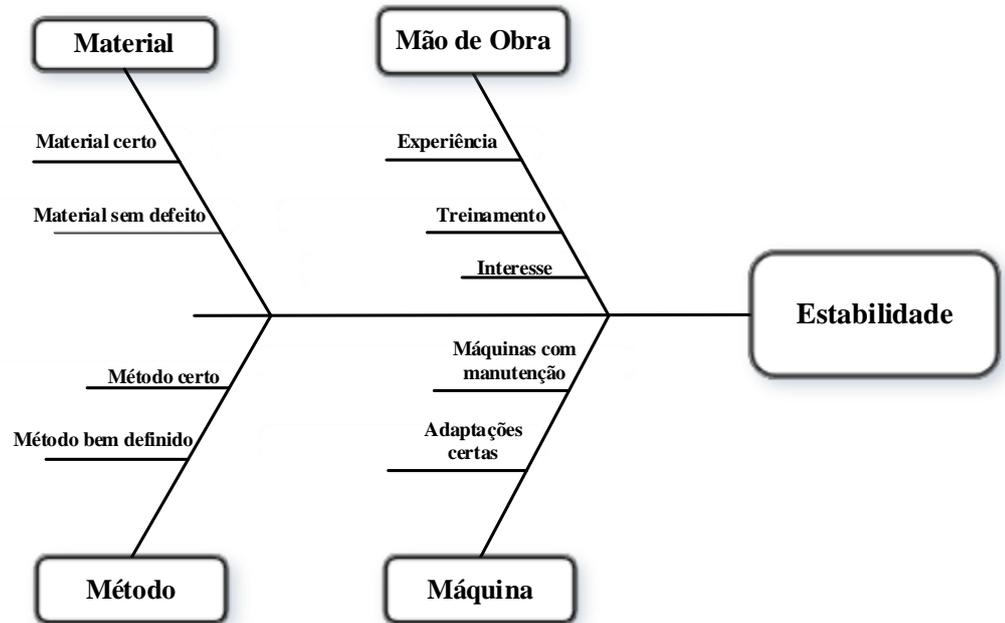
De acordo com Saurin (2015), existem também perdas que incluem o projeto e a documentação, a aquisição e o manuseio de materiais e a gestão da obra.

2.5 Conceito de estabilidade

O conceito de estabilidade é abordado em diversas áreas do conhecimento, o conceito é abordado nesse trabalho é sob a perspectiva da engenharia de produção, a qual enfatiza a estabilidade de processos produtivos. Ela elimina ações que inibem o desempenho do trabalhador e a facilita com que o trabalho seja executado (TREVILLE, ANTONAKIS, 2005). Essas ações podem ser aplicadas com base na filosofia *Lean*, pois é definida por um estado de previsibilidade assegurada pela disponibilidade contínua de mão de obra, materiais, máquinas e método (4M). Além de produzir resultados imagináveis a longo prazo, e o seu desenvolvimento é como um fundamento para outros aspectos de um processo enxuto (LIKER, MEIER, 2007).

As indústrias devem coordenar com eficácia os 4M, antes de implementar alguma prática de mentalidade enxuta (SMALLEY, 2008). Neste trabalho, o termo estabilidade representa os processos, executados em fluxo contínuo e harmônico. Conseqüentemente, a existência de estabilidade resulta na manutenção de determinados padrões sob controle, tais como os 4M, como aqueles ilustrados na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama De Causa E Efeito Dos 4 M



Fonte: Adaptado de Cheng e Podolshy, (1993)

Para que a implantação da estabilidade seja eficaz, são necessárias algumas circunstâncias, como por exemplo, a redução de problemas com a disponibilidade de equipamentos, maquinário com manutenção e adaptação, método definido e com pouca ocorrência de defeitos, materiais disponíveis, mão de obra treinada, com experiência e interesse (GALLARDO, 2007).

2.5.1 Estabilidade de mão de obra

Para garantir estabilidade da mão de obra é necessário disponibilidade e treinamento da mão de obra (SMALLEY, 2008). No STP, a escolha das pessoas se dá através de quem mais se adapta ao modelo e às suas necessidades, habilidades como, motivação, liderança em reuniões, identificação de problemas e habilidade de comunicação (LIKER; MEIER, 2007).

Logo, é fundamental ter uma mão de obra precisa em cada processo, ou seja, de qualidade e disponibilidade (CHENG; PODOLSKY, 1993). Liker e Meier (2007) relatam que, para o treinamento ser válido, é necessário que seja baseado em padrões, isto é, forneça a base para que o operador saiba exatamente o que fazer, como fazer e quando fazer. O processo prossegue até que o operador esteja apto para trabalhar sozinho.

2.5.2 Estabilidade de máquinas

Com relação à estabilidade das máquinas, manutenções preditivas e preventivas é o principal mecanismo para garantir equipamento confiável e estável (DENNIS, 2008, LIKER;

MEIER, 2007). A NR 12 do Ministério Público do Trabalho e Emprego (MPE) determina que um trabalho de manutenção básica inclui inspeção, limpeza, lubrificação e ajustes, para os operadores das máquinas, para isso, esses operadores precisam de treinamento e de equipamentos que possam ser capazes de identificar alterações nas máquinas de modo preventivo, evitando perdas de tempo de parada do maquinário para manutenções corretivas.

2.5.3 Estabilidade de materiais

A estabilidade dos materiais é assegurada pela sua disponibilidade no posto de trabalho, na quantidade e qualidade adequada, certificando que a produção não tenha interrupção (CHENG; PODOLSKY, 1993). Tendo essa estabilidade de matérias, possibilita que haja uma redução dos estoques no fluxo de valor. O *Lean thinking* é formado como um sistema produtivo integrado, tendo como seu maior foco o fluxo de produção, produzindo menores lotes a um nível reduzido de estoques (WOMACK; JONES; ROOS, 1992). No STP, o estoque é considerado uma das perdas mais notáveis de um sistema produtivo, pois o excesso de estoque torna o processo rígido, acrescentando o *lead-time*, ou seja, o tempo de atravessamento (SHINGO, 1996; OHNO, 1997).

2.5.4 Estabilidade de método

A padronização é a base indispensável para que a melhoria seja fundamentada (SMALLEY, 2008). Para que se haja um desempenho consistente, é preciso que se estabeleça processos e procedimentos padronizados, pois somente quando o processo é estável, é que se consegue uma melhoria contínua (LIKER; MEIER, 2007). O método deve levar em consideração as características dos 3M (mão de obra, máquina e material), onde a padronização deve acontecer em todos, uma vez que ela é a base para realizar as futuras melhorias, com menos desperdícios, menor custo, cumprimento de prazo e segurança (DENNIS, 2008).

2.6 Trabalho padronizado

A padronização do trabalho ganhou destaque desde que Henry Ford começou a integrá-la em sua linha de montagem, definindo com nitidez e precisão uma única maneira de se executar as atividades (MONTEIRO; RAMOS, 2015). Liker e Meier (2007), estabelecem que com a padronização do trabalho é mais fácil definir procedimentos precisos, que tenham ênfase nos movimentos dos operadores, baseado em três elementos-chaves: *takt-time*, sequência e estoque padrão, descritos logo abaixo:

- *Takt time*: É o tempo que uma peça precisa ser produzida de acordo com o tempo de produção disponível sobre a demanda do cliente.
- Sequência de trabalho: É um conjunto de trabalho executado por um operador em uma sequência exata, definindo os movimentos e tarefas, permitindo repeti-los o ciclo de forma consistente e o otimizando, mantendo a qualidade do produto e diminuindo o retrabalho para que seja executado dentro do *takt time* (KISHIDA, SILVA; GUERRA, 2008);
- Estoque padrão: É a quantidade máxima de peças em tráfego para o fluxo de produção se manter constante, ou seja, busca compreender quais as peças necessárias no estoque para manter o fluxo sempre funcionando de forma constante, essa quantidade de itens varia de acordo com os layouts de máquina e rotinas de operações.

Com o trabalho sendo padronizado, é possível elevar o nível de qualidade e produtividade da empresa, pois, é possível entender qual é a taxa de produção diária e sua sequência, o tempo periódico de cada produto e quais peças são essenciais na produção.

2.5 Fluxo contínuo

O fluxo contínuo é um dos princípios da Mentalidade Enxuta, apresentado por Womack e Jones (2004). De acordo com Liker (2005) a utilização do fluxo contínuo apresenta sete benefícios, são eles: Maior qualidade; versatilidade; maior produtividade; libera espaço; aumenta a segurança; a ética e minimiza o estoque. Rother e Harris (2002), elaboraram um modelo para a executar o fluxo contínuo em indústrias, dividido nas seguintes etapas:

- a) Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) das principais famílias de produtos;
- b) Implementação do fluxo contínuo, do balanceamento das execuções do trabalhador e do sistema de produção puxado;
- c) Utilização do trabalho padronizado;
- d) Melhoria contínua do processo de padronização.

2.7 Ferramenta de visualização do Lean thinking

O *Lean Thinking* é uma filosofia de gestão, onde tem como seu principal objetivo a redução de desperdícios ao mesmo tempo em que gera valor para o cliente. Para alcançar esse objetivo é preciso que ocorra uma mudança de pensamento e conhecimento das ferramentas *Lean*.

2.7.1 Mapa fluxo de valor

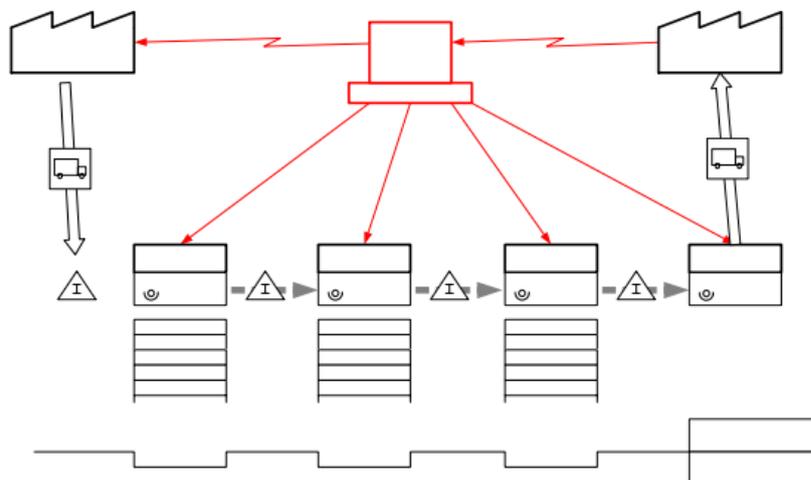
O *Value Stream Mapping*, também conhecido pela sua sigla VSM e tradução do termo para o português como Mapeamento do Fluxo de Valor é uma ferramenta utilizada nas melhorias baseadas em mapeamento de processos para melhor visualização é muito conhecido em vários setores. Criada por Gilbreth e Taylor, ao desenvolver vários gráficos, cronogramas e conceitos de gravação (GROOVER, 2007). Tem o objetivo de reduzir vários resíduos, revelando valor agregado e não agregador dos produtos.

O MFV é uma ferramenta que permite a visualização e compreensão dos processos, assim com a identificação de perdas. O processo de mapeamento possui quatro grandes etapas: identificação da família de produtos, o desenho do estado atual, a proposta de trabalho futuro e o plano de trabalho. A família de produtos representa um grupo de produtos que tem etapas de processamento similares e utilizam equipamentos em comum (ROTHER; SHOOK, 2003). Para o desenvolvimento do MFV do estado atual, é indispensável a coleta de dados no chão de fábrica. Cada etapa do fluxo de valor é representada dentro do quadrado do processo onde são registradas informações como as seguintes:

- a) Tempo de ciclo;
- b) Tempo de troca;
- c) Número de pessoas;
- d) Tempo de trabalho disponível.

Além disso, outras informações tipicamente apresentadas nos MFV são o tamanho dos lotes de produção, estoques acumulados (ícone triângulo), fornecedor de matéria-prima e tamanho dos lotes de entrega (ícone de fábrica) (ROTHER; SHOOK, 2003), de acordo com a Figura 3.

Figura 3- Exemplo de mapa fluxo valor



Fonte: (ROTHER; SHOOK, 2003 – Adaptado)

Um dos objetivos do mapa do estado atual está em entender como funcionam os processos para justificar a elaboração do mapa do estado futuro, ou seja, durante o mapeamento do estado atual, é importante avaliar os processos tendo em mente a criação de um estado futuro (LIKER; MEIER, 2007). Para o desenvolvimento do MFV do estado atual, é fundamental que a coleta de dados seja feita no chão de fábrica, um sistema *Manufacturing Resource Planning* (MRP) gera ordens de produção as quais empurram o material para o processo seguinte. Na parte inferior do mapa encontra-se a linha de tempo com a qual se compara o *lead time* e o tempo de processamento.

Para uma análise de melhoria e construção de um MFV futuro, Rother e Shook (2003), recomendam que se faça os seguintes questionamentos:

- Qual o *takt time*?
- Produzir para um supermercado com produtos já finalizados ou diretamente para expedição?
- Onde utilizar fluxo contínuo?
- Será preciso introduzir sistemas puxados?
- Qual único ponto da cadeia será usado controlar e programar a produção?
- É possível nivelar a informação em um processo puxado?
- Qual o incremento de trabalho que será liberado do processo puxado?
- Quais as melhorias necessárias nos processos?

De acordo com as respostas dessas perguntas, pesquisadores recomendam dividir a implementação em etapas, identificando e analisando os desperdícios encontrados ao longo do fluxo de valor, dividindo o mapa de fluxo de valor futuro em segmentos, a fim de listar suas metas e objetivos, definindo um plano de ação para cada segmento (MCDONALD; VAN AKEN; RENTES, 2002; BRAGLIA; CARMIGNANI; ZAMMORI, 2006 ; CHITTURI; GLEW; PAULLS, 2007).

2.7.2 Controle estatístico do processo (CEP)

O CEP é uma ferramenta de análise utilizada em atividades para proporcionar o controle da qualidade durante o processo, evitando inconformidades nos produtos acabados. A aplicação dessas técnicas estatísticas oferece informações a respeito do grau de confiabilidade dos resultados e seus riscos, controlando a variabilidade do processo (SENAI, 2000).

Essas alterações do processo, segundo Montgomery (2004) podem ser dadas por:

- a) Causas comuns: São características do processo que são controladas de maneira incorretas, podem ser causadas por falhas operacionais ou máquinas defeituosas.

Geralmente, são imperceptíveis e é comum está em um sistema constante de variações, um processo que tem apenas causas comuns é dito, sob controle.

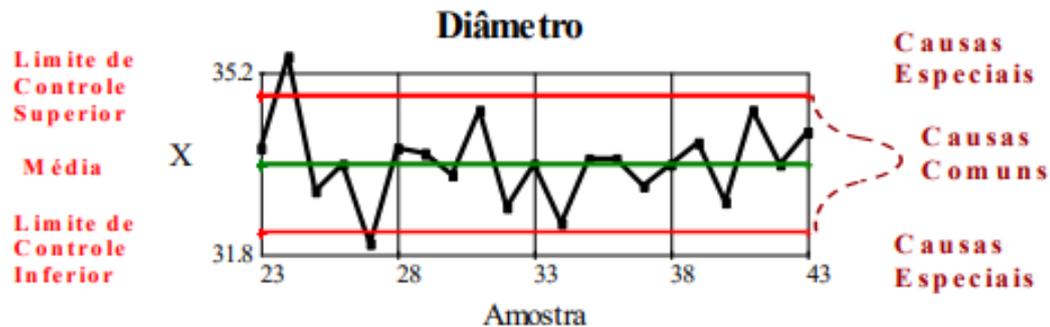
- b) Causas especiais: Apresentam grande variabilidade, diminuindo o desempenho do processo.

2.7.3 Cartas de Controle

Para fazer o controle estatístico do processo, é utilizada para analisar a variação de dados. Com isso, é possível determinar se o processo está ou não dentro do limite aceitável. Para fazer essa análise é preciso usar os gráficos de controle, onde possuem um modelo básico, mudando apenas as variáveis de um modelo para o outro (KRAJEWSKI, RITZMAN, MALHOTRA 2009).

Sua estrutura é desenvolvida através da linha média, que é a mediana do sistema, um limite de controle superior (LSC) e o limite e controle inferior (LIC), se o processo estiver estável, as variáveis estarão entre esses limites, caso as mesmas estejam fora desses limites, as variáveis devem apontar alguma causa especial (TRIVELLATO, 2010). A Figura 4 representa um modelo de carta de controle.

Figura 4 -Modelo de carta de controle



Fonte: (RIBEIRO, CATEN, 2012)

3. MATERIAIS E MÉTODO

Esse estudo tem como objetivo avaliar os parâmetros de produção, avaliando sua estabilidade e capacidade. Esta pesquisa é de origem qualitativa e quantitativa, para melhor avaliar a estabilidade. Também é de caráter descritivo e exploratório, permitindo o levantamento e conhecimento da dificuldade do trabalho avaliado em ambiente real, de acordo com as classificações de Gil (2017).

A pesquisa foi desenvolvida por meio de estudo de um caso. A investigação referiu-se à avaliação da estabilidade dos processos que compõem o fluxo de valor para a execução de 910,16 metros de pavimentação granítica (terraplenagem, drenagem e pavimentação).

A coleta de dados e informações será baseada nas seguintes etapas:

- Identificação das etapas de fluxo de valor;
- Identificação dos componentes de cada elemento da produção por meio do diagrama de causa e efeito;
- Estabelecer indicadores para cada um dos 4M's – Mão de obra, máquina, método e material;
- Verificar a estabilidade para cada indicador;

A fim de testar a aplicabilidade dos conceitos enxutos em obras de pavimentação granítica, será proposto um modelo de aplicação prática, que será desenvolvido de acordo com a informação recolhida através da utilização do mapa de fluxo de valor. O desenvolvimento do modelo proposto compreende cinco etapas:

- Observação e escolha do procedimento sujeito à implementação de melhorias, com enfoque a contribuição que as práticas de PE podem dar para essa melhoria;
- Elaboração de um mapa do fluxo de valor atual;
- Análise do MFV atual e apresentação de propostas a fim de melhorar a eficiência do processo;
- Elaboração de um mapa do fluxo de valor do estado futuro.

3.1 Coleta de dados

Para a coleta de dados, foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Entrevista com o coordenador e encarregado da obra (apêndice A);
- Análise do projeto da obra, bem como suas etapas de planejamento de execução;
- Coleta de dados de produtividade, disponibilidade e qualidade da matéria-prima;

- Registro fotográfico para ilustrar as etapas, materiais e os equipamentos utilizados no processo;
- Dados de registro diário de produção através de registro RDO (Registro Diário de Obra) documento de registro padrão da empresa;
- Dados de planejamento através da Programação de Trabalho Semanal (PTS).

3.2 Empresa estudada

A empresa na qual foram realizados o estudo exploratório e o estudo de caso, é uma empresa prestadora de serviços, que executa obras de pavimentação e infraestrutura no estado de Alagoas. Qualifica-se como uma empresa de pequeno porte, conforme classificação do Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa (SEBRAE), fundada há 5 anos, situada na cidade de Maceió-AL.

A obra escolhida para o estudo de caso foi uma rua a ser pavimentada no município de Lagoa da Canoa, obra cujo tempo de execução foi de 13/05/2021 à 13/10/2021. O principal parâmetro de escolha para o estudo dessa empresa foi a realização do estágio, onde foi necessário acompanhar todas as execuções da obra, o interesse da empresa em buscar melhorias em seu processo.

3.3 Mapa de fluxo de valor do estado atual

O mapa de fluxo de valor do estado atual apresenta conhecimentos a respeito do fluxo de materiais e de informações em relação a produção. Para elaborar o MFV foi preciso identificar quais fases geravam fluxo de valor, os tempos de ciclo em cada etapa, quantos funcionários atuavam em cada etapa, quais os tempos e motivos de parada, o número de pessoas envolvidas no processo, e, por fim, os procedimentos de programação e controle da produção. Em relação à matéria-prima, as seguintes informações foram coletadas: identificação dos materiais, fornecedores, comunicação entre fornecedores e empresa, a frequência de compras com os fornecedores, estoque, armazenamento e entrega dos materiais.

Neste trabalho, foi considerado o MFV correspondente à produção de aproximadamente 910,16 metros de pavimentação finalizada. O projeto prevê aproximadamente cinco metros de largura entre meios-fios, sendo 4.555,54 m² de pavimentação. Neste cenário, avaliaram-se os serviços de terraplenagem, drenagem e pavimentação deste trecho.

3.4 Avaliar a estabilidade e capacidade no fluxo de valor

De acordo com Shingo (1996), na avaliação da estabilidade são empregados mecanismos de produção, pressupondo que os sistemas de produção são como redes de processos e operações. Logo, a mão de obra, máquinas e métodos avaliam a estabilidade das operações, ao passo que os materiais avaliam a estabilidade em função do processo. Para avaliar a estabilidade e a capacidade faz-se necessário identificar as fontes de instabilidade.

3.4.1 Mão de Obra

Durante a organização dos dados junto a empresa, foi possível analisar informações para o cálculo do índice de absentismo (I_A), indica o controle das ausências dos trabalhadores. De acordo com Chiavenato (2004), I_A o pode ser calculado a partir da seguinte fórmula:

$$I_A = \left[\frac{HORAS PERDIDAS}{HORAS TOTAIS} \right] \cdot 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, as horas perdidas é a soma das faltas e atrasos e horas totais é o resultado do número de trabalhadores pelas horas e dia de trabalho.

Foi calculado também o índice de rotatividade de mão de obra (I_R), onde, o mesmo é baseado na quantidade admissões e demissões dos funcionários em relação ao planejamento dos recursos humanos disponíveis, para esse índice é usada a seguinte equação:

$$I_R = \left[\frac{\frac{N^\circ \text{ admissões(mês)} + N^\circ \text{ demissões (mês)}}{2}}{N^\circ \text{ empregados finaldomêsanterior}} \right] \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde o índice de rotatividade de pessoal se refere ao valor percentual de empregados na organização em relação ao número médio de empregados. A empresa em estudo, não coletava esses índices, então foi necessário fazer uso da folha de ponto dos funcionários. Dados referentes ao número de funcionários destinados na obra, total de horas em cada serviço, total de faltas e atrasos, bem como horas extras também foram levantados pelo período que durou a execução da obra (13/05/2021 à 13/10/2021).

3.4.2 Máquinas

As máquinas estudadas nesse estudo foram a retroescavadeira, motoniveladora e caminhão basculante e um trator de esteiras. Já que essas máquinas passavam por algumas etapas na planilha de execução do projeto. Foi levado em consideração o tempo em que cada máquina foi utilizada mensalmente, as operações que agregam valor. Adotou-se o indicador de

disponibilidade média dos equipamentos (DME), que é calculado através da soma das horas em que o equipamento estava na obra como também as horas de desvios e paradas do equipamento. Este indicador busca responder três perguntas dentro do meio organizacional.

- Com que frequência os meus equipamentos ficam disponíveis para operação?
- O quão rápido estou produzindo?
- Quantos produtos foram produzidos e não geraram perdas de produção?

$$\text{Não Disp: } \frac{\text{Tempo paradas}}{\text{Tempo prod}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{Disp: Não Disp} - 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Logo após é calculado o DME, através média aritmética da porcentagem da disponibilidade dos equipamentos, com isso é possível analisar a estabilidade desse indicador relacionado à máquina.

3.4.3 Material

Após uma análise para identificar os dados disponíveis para avaliar a estabilidade dos materiais, constatou-se que seria possível calcular índice de desempenho dos fornecedores de materiais (IDF), calculado pela Equação 05. Esse indicador proposto pelo Norie (2010), no qual busca a melhoria contínua no relacionamento entre a empresa e fornecedores, por isso é necessário realizar avaliações periódicas dos fornecedores contratados.

$$IDF = \frac{IDF_1 + IDF_2 + IDF_3 + IDF_4}{\sum N^{\circ} IDF} \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo:

IDF_1 : Avaliação com relação ao preço

IDF_2 : Avaliação com relação à qualidade do material

IDF_3 : Avaliação com relação ao atendimento

IDF_4 : Avaliação com relação à entrega

Com isso, foi elaborado um *checklist* (apêndice B), para ser preenchido a cada entrega de materiais, esse *checklist*, avalia os critérios a seguir:

- Preço de acordo com o pedido
- Cumprimento do prazo e horário de entrega, conforme previsto
- Conferir quantidade do material conforme a nota fiscal
- Conferir qualidade do material por meio da inspeção visual

- Transporte apropriado para a entrega.

Dessa forma é possível calcular o IDF, tendo como o nível de excelência a nota 10,0, ou seja, uma maior satisfação da empresa em relação ao fornecedor.

3.4.4 Métodos

Para a avaliar o método foi definido um *checklist* (apêndice C) de acordo com as normas de trabalho, RDO e TPS, a fim de avaliar o desempenho do processo do método em relação à estabilidade. A avaliação foi feita por meio de vistoria quinzenal, realizada através de visitas à obra, como também entrevista com o mestre de obras, esta vistoria é executada por um Engenheiro Civil e um técnico em edificações de uma empresa prestadora de serviços. O *checklist* tem a finalidade de avaliar a aderência aos processos que aumentem a produtividade e a qualidade dos serviços executados.

3.5 Indicadores utilizados e valores recomendados

Os indicadores analisados e seus valores recomendados estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Resumo dos indicadores avaliados na obra

INDICADORES ANALISADOS				
Elemento de Produção	Indicador	O que avalia	Período	Valor Recomendável
Mão de Obra	Absenteísmo	Atrasos, faltas e saídas antecipadas no expediente	Mensal	1,5% e 2,7% de acordo com a Associação Brasileira de Controle da Qualidade (<i>ABCQ</i>)
	Rotatividade	Contratação Demissão	Mensal	5% de acordo com a Associação Brasileira de Controle e Qualidade (<i>ABCQ</i>)
Máquinas	Disponibilidade	Perdas no processo de produção	Mensal	85% (<i>NAKAJIMA</i> , 1989)
Material	Avaliação de fornecedores de materiais	Desempenho dos fornecedores de materiais	A cada Entrega	>80% (Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil- <i>SISIND</i>)
Método	Processo Padronizado	Mecanismo que compõem o processo de produção	Semanal	>85% (Sistema da empresa)

Fonte: Autor (2022)

3.6 Análise estatística dos resultados

A estatística utilizada, neste trabalho, é a *Robust Statistic*, pois é uma abordagem mais recente, onde sua estimativa é alcançada através da mediana dos valores de indicadores selecionados. Essa estatística garante uma maior força para manter um desempenho satisfatório do sistema mesmo na presença de alterações nos parâmetros (STENGEL; RAY, 1991).

É calculada através da mediana (\bar{x}) dos valores encontrados nos indicadores escolhidos. Assim como, foi calculado o desvio padrão (σ), associado com a amplitude Interquartílica (*AI*), onde a mesma é calculada pela diferença entre o 1º e o 3º quartil (medida que divide o conjunto em quatro partes iguais), resultando o valor do distanciamento dos pontos na mediana. Calculado pela equação logo abaixo:

$$AI = (Q_1 - Q_3) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

Q_1 : É o valor da posição central entre o primeiro termo e a mediana, seu resultado corresponde a 25% dos dados.

Q_2 : Corresponde ao intervalo entre 25 e 50% (mediana).

Q_3 : Corresponde ao intervalo entre 50 e 75%.

Q_4 : Corresponde ao intervalo entre 75 e 100% (ou o valor máximo).

O desvio padrão é dado pela seguinte equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

x_1 : Valor do conjunto de dados

\bar{x} : Média dos valores

n : Número dos valores

Os indicadores foram classificados de acordo com sua estimativa robusta de média e desvio padrão, com o intuito de quantificar a instabilidade de processo. A partir disso, foi calculado a linha central, que corresponde à mediana (\bar{x}) e os limites inferior e superior, chamados limites de controle, que são comparados ao limite da mediana mais ou menos três vezes o desvio padrão, conforme a Equação 8 e 9.

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (\text{Eq. 8})$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (\text{Eq. 9})$$

Para o processo ser dito como estável, as médias individuais de cada subgrupo devem estar entre os limites superiores e inferiores, caso contrário, o processo é dito como instável por causas especiais (RIBEIRO; CATEN, 2012).

Um processo estável é aquele que segue um padrão esperado ao longo do tempo, no entanto essa amostra pode ou não ser capaz de executar tarefas com as especificações pré-definidas (KIND, 2019), para saber se o processo é ou não capaz é preciso analisar se a variabilidade for excessiva, o processo é dito como não capaz e a direção da empresa deve atuar sobre o sistema. Mas se a variabilidade inerente do processo for menor do que as especificações, o processo é dito capaz. Para calcular a capacidade do processo é necessário utilizar o índice de capacidade (CP) que compara o limite estabelecido com a variabilidade potencial do processo (Equação 10).

$$C_p = \frac{LSC - LIC}{6\sigma} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

LSC: Limite de especificação superior

LIC: Limite de especificação inferior

σ : Desvio padrão

Os limites de especificações que são baseados em pré-requisitos, são os valores que os serviços devem funcionar, ou seja, são valores definidos pela empresa contratante, vale salientar que em alguns índices ao longo do estudo, não será possível analisar a capacidade do processo, pois não existem limites de especificações.

3.7 Mapa de fluxo de valor do estado futuro

As informações para a realização do MFV do estado futuro foram coletadas juntamente com os fluxos de produtividade e informação, durante as visitas na empresa, entre os meses de junho e outubro, foi possível observar pontos que podem ser melhorados.

A partir disto, propôs-se a situação futura, evidenciado as principais fontes de desperdícios a serem eliminadas e, a partir de uma padronização do processo, conseguir a estabilização da produção. Foi levado em consideração também a aplicação do MFV no setor da construção civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é relatado a obra em estudo, como também as etapas dos estudos exploratórios e de caso, avaliando as fases dos processos (4M).

4.1 Obra analisada

Dentre as obras em andamento, a utilizada como objeto de estudo deste trabalho foi uma obra de realização da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba 5ª SR (CODEVASF), na qual a empresa em estudo está licitada para prestação de serviços. A obra fica no município de Lagoa da Canoa, que tem em seu escopo de terraplanagem de via e execução de pavimentação granítica. O trecho total a ser pavimentado é 910,16 metros com uma largura de 5,00 metros.

A empresa trabalha com relatório diário de obra (RDO), nesse relatório o mestre de obras registra toda a produção diária e os desvios ocorridos no dia. O processo produtivo da pavimentação granítica envolve três etapas: serviços preliminares, terraplanagem, pavimentação, sinalização viária e serviços complementares, de acordo com o fluxograma ao final da sessão (Figura 11).

Para começar a obra, primeiro é necessário fazer todo o levantamento topográfico da rua, para analisar as dimensões e condições do terreno a ser pavimentado, além de fornecer coordenadas, pontos de apoios para identificar os locais de drenagem. A próxima etapa é a drenagem superficial, que tem como objetivo captar e conduzir para as águas para um deságue seguro e estável (BRASIL, 2011). Essa etapa não será analisada no estudo em questão, pois os dados coletados referem-se apenas ao levantamento topográfico, terraplanagem e execução da pavimentação granítica.

A terceira etapa, é a terraplanagem (Figura 5), onde acontece a preparação do terreno para receber a pavimentação, garantindo a compactação do solo. Foram utilizados uma retroescavadeira para escavação mecânica e o caminhão basculante para carga e descarga de solo e o espalhamento de materiais com um trator de esteiras. A terra excedente, proveniente dos cortes, foi colocada no bota-fora em locais indicados pela Fiscalização da obra. Após a execução de cortes e adição de material necessário para se atingir a linha que une uma série de cotas que caracterizam o perfil longitudinal da rua (Greide), foi realizado o umedecimento e compactação do solo. A etapa de terraplanagem é concluída apenas quando o engenheiro da obra juntamente com o mestre de obras atesta a qualidade final do serviço.

Figura 5- Regularização de subleito em andamento



Fonte: Autor (2021)

A próxima etapa é a o assentamento de meio fio, onde foi aberta uma vala ao longo da borda do subleito, de acordo com o projeto previsto, conforme mostra a Figura 6, o assentamento foi realizado manualmente por dois funcionários, um pedreiro e um ajudante, os meios fios devem ter suas juntas tomadas com argamassa de cimento e areia no traço 1:4 e precisam apresentar as seguintes especificações, de acordo com a NBR 12654:

- Comprimento 0,80 m (reto) a 0,60 (curvo);
- Largura 0,15 m;
- Altura 0,30 m;

Logo após foi colocado o colchão de areia para assentamento (Figura 7), segundo a NBR 7211, a areia utilizada para deve ser composta por grânulos pequenos de no máximo 4,8mm, chamada areia lavada, a espessura do colchão deve ser de 10 centímetros, onde sua principal função é permitir um nivelamento adequado no trecho a ser pavimentado.

Ao término dos serviços de espalhamento do colchão de areia, foram iniciados os serviços de assentamento das pedras graníticas, normalmente ao eixo da pista, e obedecendo ao abalamento e declividade estabelecidos no projeto, com distância média de dois à três centímetros entre eles. É necessário ter linhas de referência para o assentamento dos paralelepípedos, que consiste em pregar ponteiros de aço com uma distância de dez metros entre eles, tendo como referência o nível do meio fio, logo em seguida é estendida algumas linhas de *nylon* de ponteiro a ponteiro.

Figura 6- Assentamento de meio fio



Fonte: Autor (2021)

Figura 7- Espalhamento colchão de areia



Fonte: Autor (2021)

A próxima etapa é o assentamento do paralelepípedo, a primeira fileira, normal ao eixo de pavimentação é formado por uma linha de três paralelepípedos de cor distinta, esses são colocados com uma maior distância entre si e acompanhando o eixo longitudinal do pavimento, na segunda fileira, primeiramente é colocado o centro da primeira pedra sobre o eixo da pista e os demais são assentados como o da primeira fila e assim por diante, logo que são colocados no colchão de areia as pedras devem ficar com sua face superior acima das linhas de referência cerca de um centímetro, logo em seguida alguns funcionários, com auxílio de um martelo, batem no paralelepípedo até que suas faces fiquem no nível das linhas.

Figura 8- Assentamento de pedra granítica sobre colchão de areia



Fonte: Autor (2021)

Figura 9- Rejunte de pavimentação granítica



Fonte: Autor (2021)

O rejuntamento dos paralelepípedos é iniciado assim que o assentamento é concluído, é importante analisar danos causados por chuvas e agentes externos no assentamento da pedra (Figura 8), pois ainda não estão fixados e protegidos pelo rejuntamento, o mesmo é feito com argamassa de cimento e areia ao traço de 1:3, é utilizado vassouras adequadas para o preenchimento desse rejunte entre as pedras (Figura 9). Por fim, a Figura 10 mostra a pavimentação granítica já executada.

Figura 10- Rua executada em pavimentação granítica

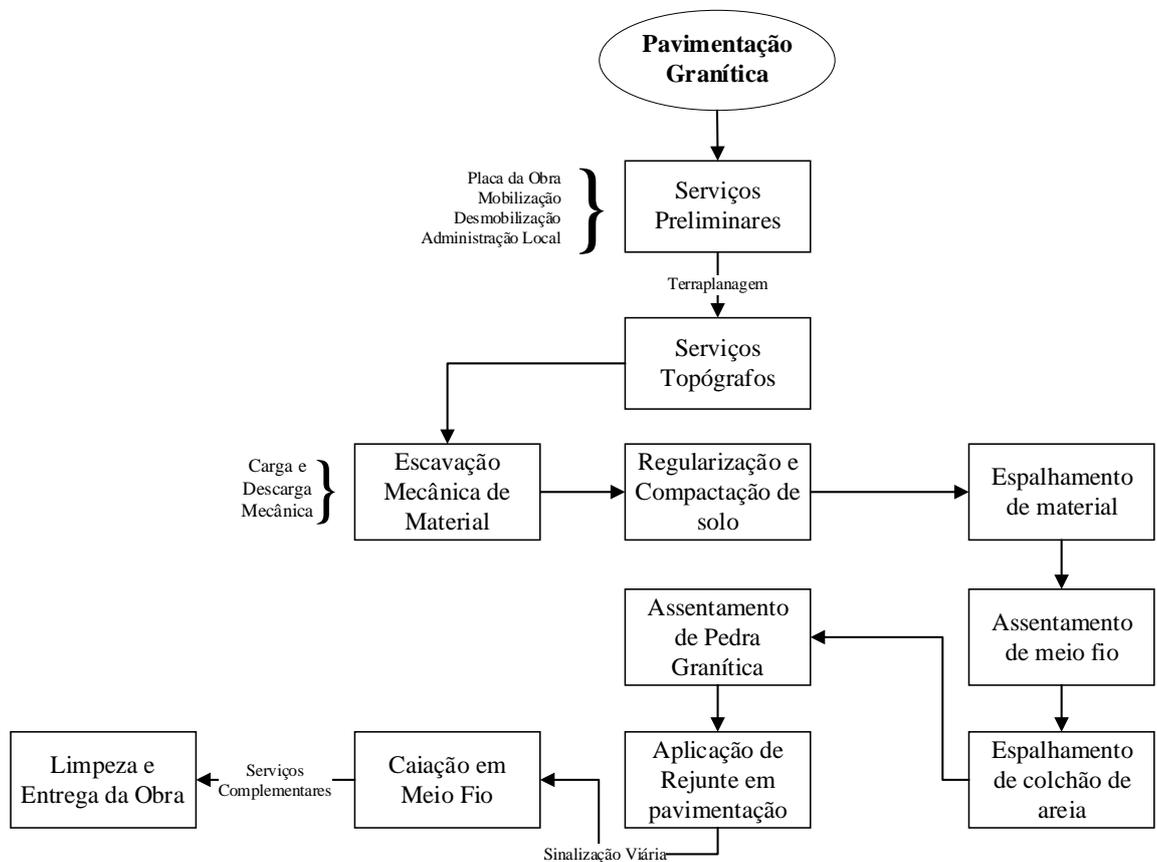


Fonte:

Autor (2021)

Por fim é feita a caiação em meio fio e os serviços complementares de limpeza final para a entrega da obra.

Figura 11- Processo produtivo pavimentação granítica



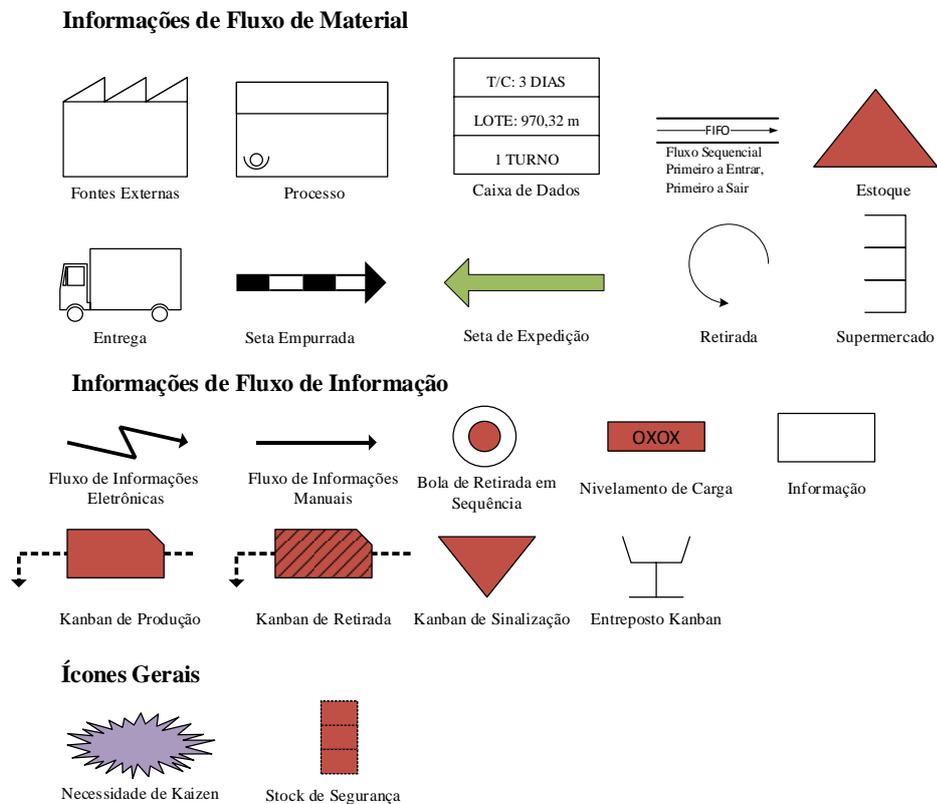
Fonte: Autor (2022)

4.2 Mapa de fluxo de valor atual

Para o desenho do mapa de fluxo de valor atual (Figura 13) foram utilizados os valores observados durante a execução da obra completa. Devido ao atual estado de pandemia em que o mundo se encontra, e a escassez de matéria-prima de vários estados do Brasil, a obra teve que ser paralisada algumas vezes durante a execução por falta de insumos para sua continuidade. A Figura 12 apresenta os ícones e símbolos usados para mapear o estado atual e futuro do MFV. A linha do tempo logo abaixo das caixas de processo especifica o *lead time* da produção, ou seja, registra os tempos de cada processo, tanto os que agregam valor quanto os tempos de espera e desperdício. De acordo com este *lead time*, o tempo de produção para a execução de 910,16m de pista foi de 76 dias e o tempo de espera de 46 dias. Esse resultado indica que aproximadamente 62,3% do tempo gasto para pavimentar a rua, e os outros 37,7% podem ser considerados desperdícios.

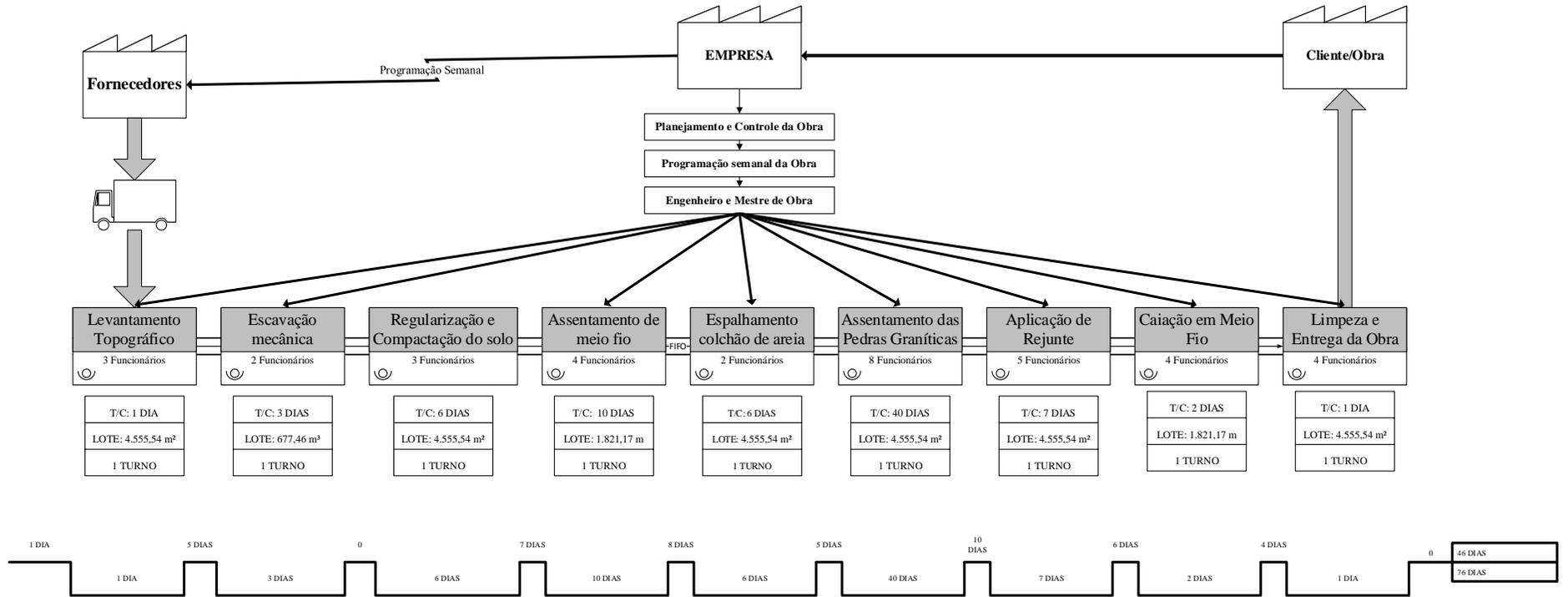
A partir do MFV, percebe-se os elevados tempos de esperas entre um processo e outro, se dá em razão da escassez de matéria-prima, fazendo com que os fornecedores demorem a entregar os insumos.

Figura 12- Ícones e símbolos do MFV



Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2003)

Figura 13- Mapa de fluxo de valor atual



Fonte: Autor (2022)

4.3 Avaliação da estabilidade nas etapas de fluxo de valor

O Quadro 2 apresenta os elementos de produção de cada etapa do MFV, servindo como suporte para avaliar a estabilidade do processo.

Quadro 2- Elementos associados aos 4m em cada etapa do fluxo de valor

<i>Elementos</i>	<i>Mão de Obra</i>	<i>Materiais</i>	<i>Máquinas</i>	<i>Método</i>
<i>Levantamento Topográfico</i>	1 Topógrafo 2 Ajudantes	-----	Estação total	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Escavação mecânica</i>	1 Operador máq. 1 Greidista	-----	Trator Esteiras 160HP Caminhão Basculante 6,0M3/16T	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Regularização e Compactação do solo</i>	1 Operador máq. 1 Operador de rolo 1 Motorista de pipa	-----	Motoniveladora AF_06/2016	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Assentamento de meio fio</i>	1 Mestre de Obra 2 Pedreiros 1 Servente	Meio-fio em concreto Cimento Areia	-----	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Espalhamento colchão de areia</i>	1 Operador máq. 1 Ajudante	Areia Lavada	Trator Esteiras 160HP	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Assentamento das Pedras Graníticas</i>	1 Mestre de Obras 4 Pedreiros 3 Serventes	Pedras Graníticas	Placa Vibratória	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Aplicação de Rejunte</i>	1 Mestre de Obras 2 Pedreiros 2 Serventes	Cimento Areia Lavada	-----	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Caição em Meio Fio</i>	1 Mestre de Obras 3 Serventes	Cal	-----	Conforme Padrão elaborado pela empresa
<i>Limpeza e Entrega da Obra</i>	1 Mestre de Obras 1 Operador máq. 2 Serventes	-----	Retroescavadeira	Conforme Padrão elaborado pela empresa

Fonte: Autor (2022)

4.3.1 Avaliação da estabilidade da mão de obra

Neste estudo, estipulou-se como período base, os meses de maio à outubro do ano de 2021, os valores necessários para o cálculo, tiveram como base o fechamento dos pontos dos funcionários, obtidos através do departamento de recursos humanos (Tabela 1), foi feito o levantamento das faltas e atrasos dos funcionários da obra, é possível observar o índice de absenteísmo no Gráfico 1, calculado de acordo com a Equação 1.

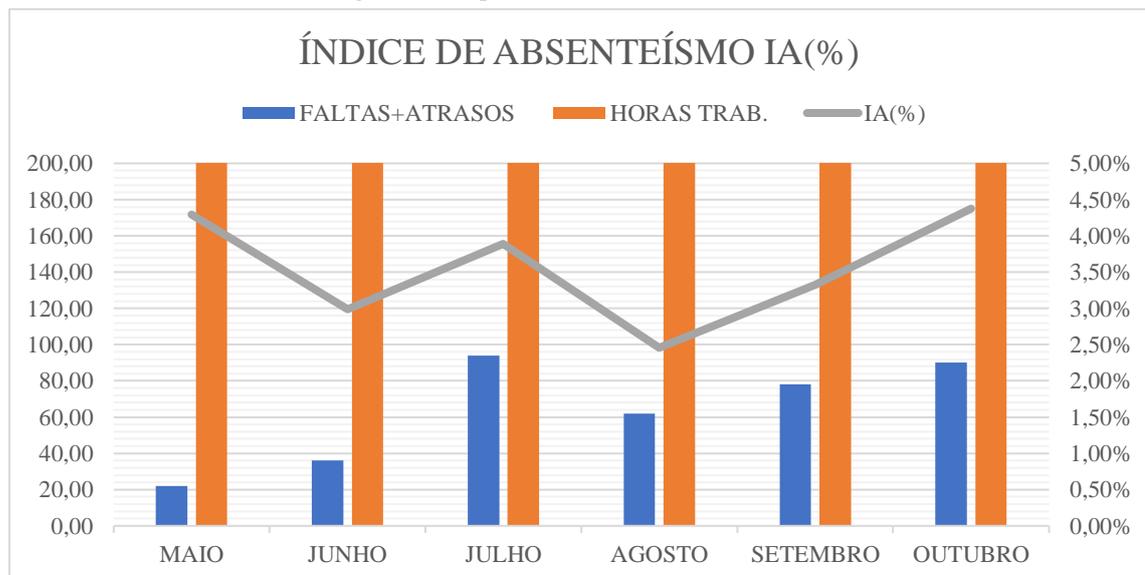
Na empresa, o recrutamento é feito com base em indicações do mestre de obras de cada município em que a obra será realizada, o pagamento é realizado de acordo com o m^2 pavimentado em bom estado. A empresa não oferece treinamentos para os funcionários da obra.

Tabela 1-Faltas e atrasos ocorridos durante a obra (medidos em horas)

ÍNDICE DE ABSENTEÍSMO			
	FALTAS+ATRASOS	HORAS TRAB.	IA(%)
MAIO	19,00	512,00	3,71%
JUNHO	25,00	1205,00	2,07%
JULHO	48,00	2416,00	1,99%
AGOSTO	36,00	2524,00	1,43%
SETEMBRO	60,00	2346,00	2,56%
OUTUBRO	90,00	2057,00	4,38%

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 1- Índice de absenteísmo registrado no período



Fonte: Autor (2022)

Observa-se que o maior índice de absenteísmo ocorreu no mês de outubro, ficando com o I_A 4,38% no período de execução da obra, tendo uma média de 2,69%. Para o setor de construção civil, o valor médio indicado é de 2,7% (NORIE, 2010), ou seja, nesta análise a

organização está dentro do limite tolerável. É possível observar também uma variação do índice entre junho a julho, onde os atrasos não tiveram um padrão, e as faltas ocorreu devido à problemas de saúde de dois funcionários.

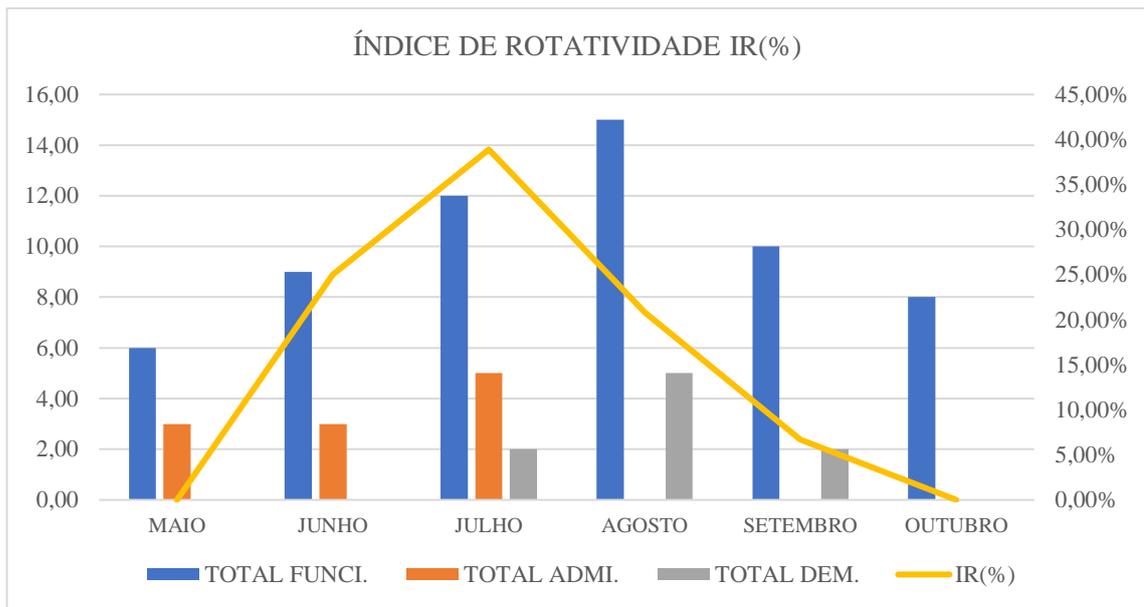
Entretanto o número de demissões variou entre dois e três nos últimos meses da obra, como também houve admissões nesse período (Tabela 2), com isso, foi calculado o índice de rotatividade (Gráfico 2) de cada mês. Para Dias (2021) o índice ideal seria de menos 10% ao ano, ou seja, um pouco menor que 1% ao mês, mas é preciso analisar as individualidades de cada mercado de trabalho. Na construção civil, o parâmetro ideal para a rotatividade é de 5% por mês de acordo com Norie (2010), já que é um mercado volátil e tem sua rotatividade mais acentuada já que é um setor que não possui mão de obra qualificada e pouca experiência (DIEESE, 2014).

De fato, a empresa não oferece cursos de capacitação, além de uma baixa remuneração e atrasos salariais, o que influencia na rotatividade e no absenteísmo (FREITAS, 2015). O setor civil é conhecido por ser um mercado de trabalho desgastante, além de ter mão de obra em grande quantidade e sem qualificação. Nesse cenário, é mais prático as empresas contratarem essa mão de obra desqualificada e reduzir custos. É comum empresas desse ramo praticarem a demissão em massa de seus funcionários no final das obras, sem se preocupar com as sequelas (Costa, 2011).

Tabela 2- Demissões e contratações durante a obra

ÍNDICE DE ROTATIVIDADE				
	TOTAL FUNC.	TOTAL ADMI.	TOTAL DEM.	IR(%)
MAIO	6,00	3,00	0,00	0,00%
JUNHO	9,00	3,00	1,00	25,00%
JULHO	12,00	5,00	2,00	38,89%
AGOSTO	15,00	0,00	5,00	20,83%
SETEMBRO	10,00	0,00	2,00	6,67%
OUTUBRO	8,00	0,00	0,00	0,00%

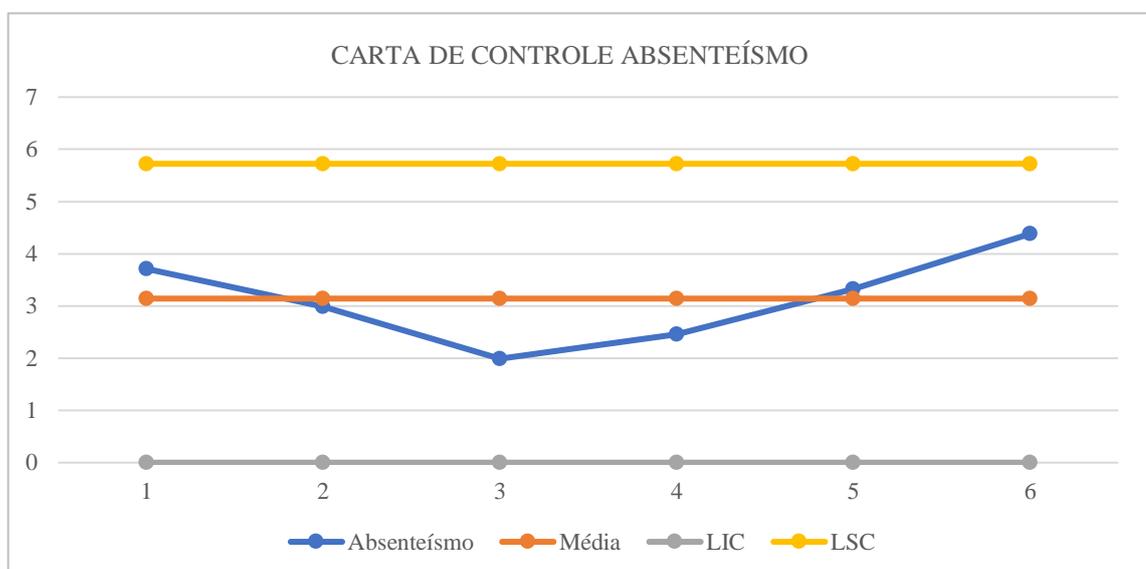
Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2- Índice de rotatividade registrado no período

Fonte: Autor (2022)

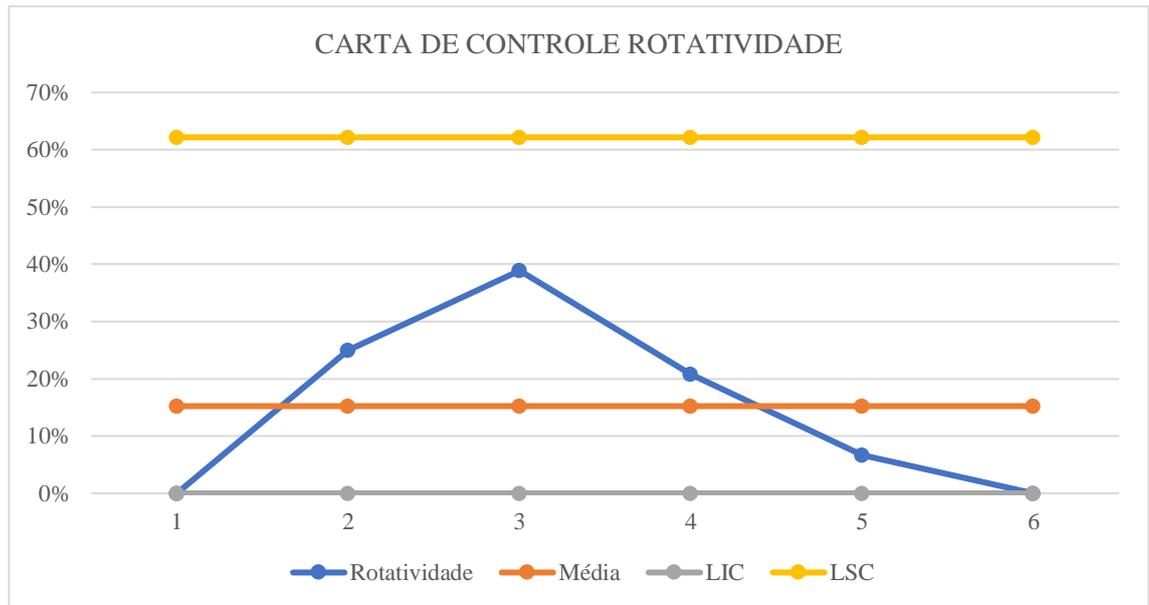
Para fazer a análise estatística da estabilidade, foram utilizados os dados dos indicadores da mão de obra, seguindo a metodologia citada anteriormente no item 3.4.1 (Tabela 3).

É possível observar que os testes de estabilidade analisando os limites de controle mostrou-se estável para ambos indicadores, pode-se notar nos gráficos de carta de controle logo abaixo (Gráfico 3 e 4). Porém o índice de rotatividade não tem capacidade de atender os pré-requisitos exigidos pela empresa, pois seu limite de especificação máxima é de 5,00% e sua média é de 16,62% apresentando causas especiais, durante o período da análise.

Gráfico 3- Carta de controle de absentéismo

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 4– Carta de controle de rotatividade



Fonte: Autor (2022)

Tabela 3- Análise de Estabilidade e Capacidade de Mão de obra

Análise Estatística Descritiva	Absenteísmo	Rotatividade
Maio	3,71%	0%
Junho	2,07%	25,00%
Julho	1,99%	38,89%
Agosto	1,43%	20,83%
Setembro	2,56%	6,67%
Outubro	4,38%	0,00%
Limite Inferior Teórico	0,00%	0,00%
Limite Superior Teórico	100,00%	100,00%
Mínimo	1,43%	0,00%
Primeiro Quartil	2,01%	1,67%
Mediana	2,32%	13,75%
Terceiro Quartil	3,42%	23,96%
Máximo	4,38%	18,75%
Média	2,69%	15,23%
Amplitude interquartílica	1,41%	22,29%
Desvio padrão	1,13%	15,64%
Limite de controle inferior	0,70%	0,00%
Limite de controle superior	6,08%	62,17%
Teste de Estabilidade	ESTÁVEL	ESTÁVEL
Limite de Especificação Inferior	0,00%	0,00%
Limite de Especificação Superior	2,70%	5,00%
Teste de Capacidade	CAPAZ	NÃO CAPAZ

Fonte: Autor (2022)

4.3.2 Avaliação da estabilidade das máquinas

As atividades foram registradas no diário de obra, no qual cada atividade das máquinas é lançada, incluindo seus desvios e paradas. Para o cálculo do indicador de disponibilidade foram utilizados os desvios de manutenções, abastecimento, paradas devido à chuva e paradas desnecessárias. Com isso, é possível observar na Tabela 4, o DME durante o período de execução da obra foi de 78,07%, menor do que o objetivo da empresa, que é de 85%.

Tabela 4- Disponibilidade média dos equipamentos durante a obra

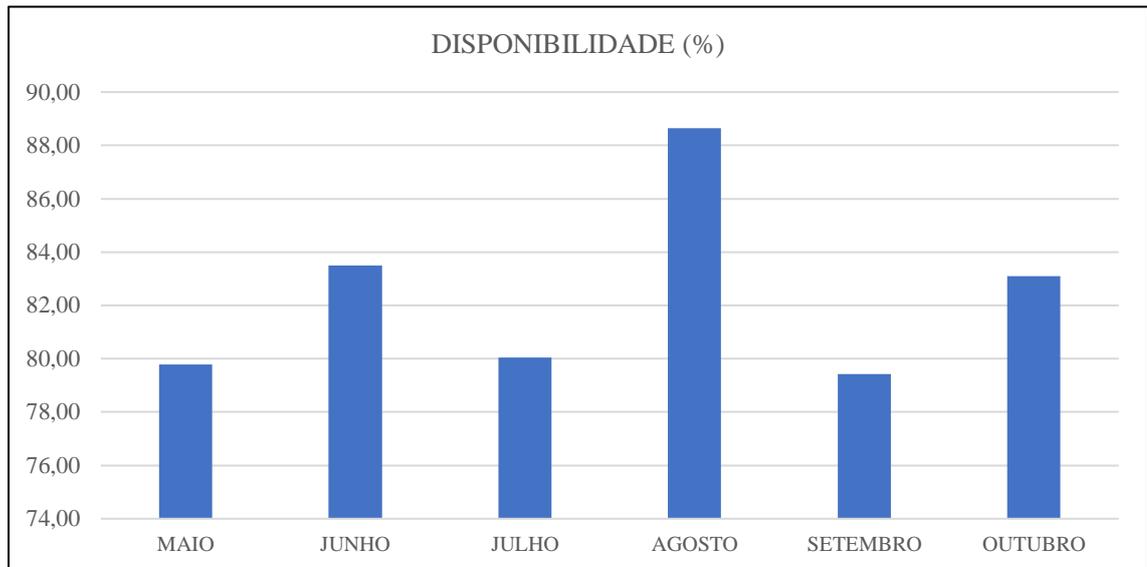
EQUIPAMENTO	MAIO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Retroescavadeira Case 580	80	19	76,25
Caminhão Basculante 6,0M3/16T	90	15	83,33
	Disp. Maio		79,79
EQUIPAMENTO	JUNHO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Retroescavadeira Case 580	134	15	88,81
Caminhão Basculante 6,0M3/16T	141	27	80,85
Motoniveladora AF_06/2016	120	23	80,83
	Disp. Junho		83,50
EQUIPAMENTO	JULHO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Retroescavadeira Case 580	57	24	57,89
Caminhão Basculante 6,0M3/16T	53	23	56,60
Trator Esteiras 160HP	151	34	77,48
	Disp. Julho		63,99
EQUIPAMENTO	AGOSTO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Motoniveladora AF_06/2016	132	20	84,85
	Disp. Agosto		84,85
EQUIPAMENTO	SETEMBRO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Retroescavadeira Case 580			
Caminhão Basculante 6,0M3/16T	138	35	74,64
Trator Esteiras 160HP	109	26	76,15
Motoniveladora AF_06/2016	144	18	87,50
	Disp. Setembro		79,43
EQUIPAMENTO	OUTUBRO		
	Total mês (h)	Desvios (h)	Disp. (%)
Retroescavadeira Case 580	56	16	71,43
Caminhão Basculante 6,0M3/16T	62	11	82,26
	Disp. Outubro		76,84
DME			78,07

Fonte: Autor (2022)

É possível observar que durante os meses de julho e outubro houve uma queda na disponibilidade das máquinas, devido às chuvas, manutenções dos equipamentos e também

paradas devido ao atraso do processo de andamento da obra, contribuindo diretamente ao índice de disponibilidade do equipamento (Gráfico 5).

Gráfico 5- Índice de disponibilidade média dos equipamentos



Fonte: Autor (2022)

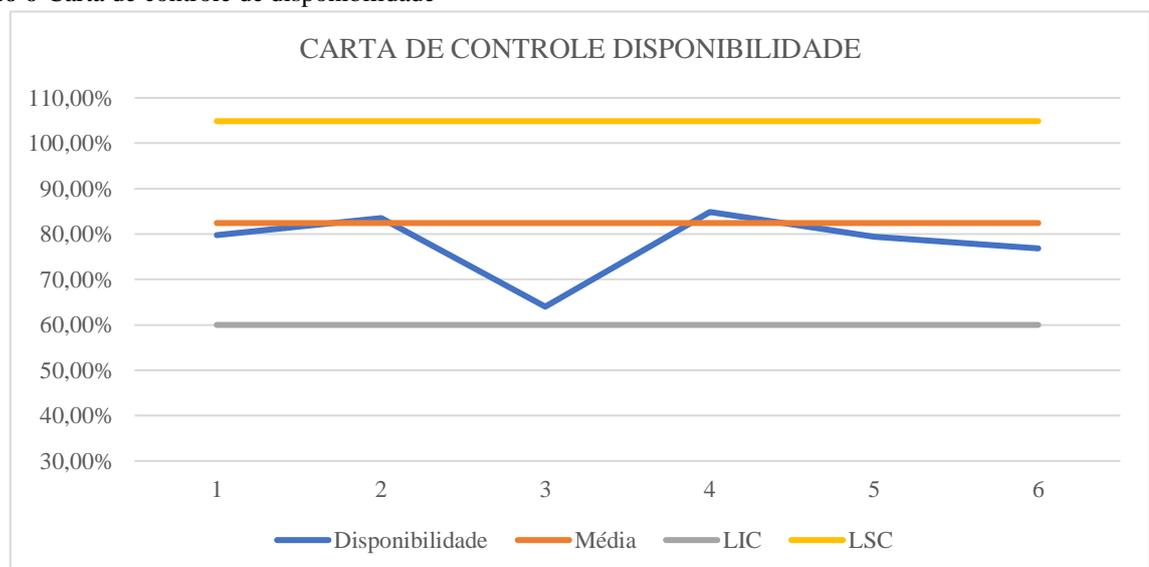
No estudo da estabilidade e capacidade das máquinas, foi realizado a análise da disponibilidade das quatro máquinas ao longo da execução da obra, onde os resultados estatísticos dessa análise estão apontados na tabela 05.

Verificando os resultados calculados na tabela acima, percebe-se que o índice de disponibilidade é estável, sua média permanece dentro dos LIC e LSC (gráfico 6), na análise dos quartis é possível observar que 50% dos dados localizados entre o primeiro e o terceiro quartil pertencem ao intervalo de 77,49% e 82,57%, corresponde a uma amplitude interquartílica de 5,09%, tendo uma variação pequena, mesmo que em alguns meses o índice de disponibilidade tenha diminuído, não afetou a estabilidade do processo. Mas o processo é incapaz, pois o valor calculado ficou abaixo dos limites de especificação, ou seja, é incapaz de atender os objetivos.

Tabela 5- Análise de estabilidade e capacidade das máquinas

Análise Estatística Descritiva	Disponibilidade
Maio	79,79%
Junho	83,50%
Julho	63,99%
Agosto	84,85%
Setembro	79,43%
Outubro	76,84%
Limite Inferior Teórico	0,00%
Limite Superior Teórico	100,00%
Mínimo	63,99%
Primeiro Quartil	77,49%
Mediana	79,61%
Terceiro Quartil	82,57%
Máximo	84,85%
Média	78,07%
Amplitude interquartílica	5,09%
Desvio padrão	7,48%
Limite de controle inferior	55,62%
Limite de controle superior	100,52%
Teste de Estabilidade	ESTÁVEL
Limite de Especificação Inferior	0,00%
Limite de Especificação Superior	85,00%
Teste de Capacidade	NÃO CAPAZ

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 6-Carta de controle de de disponibilidade

Fonte: Autor (2022)

4.3.3 Avaliação da estabilidade dos materiais

Para avaliar a estabilidade dos materiais, optou-se por usar o IDF, pois busca qualidade, transparência, além de melhorar o relacionamento entre a empresa e seus fornecedores. A empresa em estudo, não possuía um controle de seus processos de gestão de qualidade, com isso foi elaborado um *checklist* (apêndice B) para identificar o nível de satisfação da empresa com relação aos fornecedores durante o período de execução da obra (Tabela 6), respondido pelo encarregado da obra juntamente com o técnico fiscal. Para cada elemento da avaliação foi considerado o somatório de seus subelementos.

Os índices da tabela são as variáveis (IDF_n) vista na Equação 5, relacionadas aos critérios de desempenho dos fornecedores. É possível observar que o fornecedor de areia obteve uma avaliação inferior aos demais, no qual seu material não obteve a qualidade desejada, devido não possuir nenhum tipo de certificação de qualidade do produto. O fiscal responsável pelo material expôs que a areia estava com material orgânico e bastante argilosa, o que acarretou em um retrabalho, pois o material entregue teve que ser devolvido e a fornecedora enviar outro material de melhor qualidade. Já as pedras graníticas seu principal problema foi com relação ao atendimento ao cliente, pois o fornecedor é uma cooperativa de trabalhadores, e sua localização dificulta a comunicação. Os meios-fios pré-moldados apresentaram baixa qualidade no material, alguns foram entregues danificados. E, por fim, o cimento foi o índice de maior avaliação, não apresentando vastos problemas

Tabela 6—Índice de desempenho dos fornecedores

Índice de Desempenho dos Fornecedores (IDF)				
Índices	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4
	Areia	Cimento	Pedra Granítica	Meio-Fio
Avaliação com relação ao preço	10	20	15	17,5
Avaliação com relação à qualidade do material	2,5	5	5	2,5
Avaliação com relação à entrega	5	7,5	7,5	7,5
Avaliação com relação ao atendimento	10	7,5	7,5	5
Média	6,88	10,00	8,75	8,13

Fonte: Autor (2022)

Com base nos índices avaliados elaborou-se um Quadro de eficiência (Quadro 3) de acordo com as entregas realizadas pelos fornecedores durante os meses de execução da obra, quais as datas das entregas dos materiais e suas possíveis ocorrências.

Quadro 3- Resumo das inspeções dos produtos entregues durante a obra

INSPEÇÃO DE PRODUTOS ENTREGUES			
DATA ENTREGA	FORNECEDOR	MATERIAL	OCORRENCIAS
20/05/2021	Fornecedor 1	Areia	Qualidade inferior
04/06/2021	Fornecedor 1	Areia	Atraso na entrega
16/07/2021	Fornecedor 1	Areia	-
23/08/2021	Fornecedor 1	Areia	Quantidade errada
24/08/2021	Fornecedor 1	Areia	Atraso na entrega e qualidade
26/05/2021	Fornecedor 2	Cimento CP-IV	-
27/05/2021	Fornecedor 2	Cimento CP-IV	Qualidade inferior
01/10/2021	Fornecedor 2	Cimento CP-IV	-
04/06/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	Atraso na entrega
30/06/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	-
28/07/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	Quantidade errada
05/08/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	Atraso na entrega
08/09/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	Atraso na entrega
24/09/2021	Fornecedor 3	Pedra Granítica	-
25/05/2021	Fornecedor 4	Meio-Fio Pré-moldado	Qualidade inferior
26/05/2021	Fornecedor 4	Meio-Fio Pré-moldado	Quantidade errada
10/06/2021	Fornecedor 4	Meio-Fio Pré-moldado	Qualidade inferior
21/06/2021	Fornecedor 4	Meio-Fio Pré-moldado	-

Fonte: Autor (2022)

A partir do Quadro 3, é possível observar mais claramente as falhas de cada fornecedor, que na maioria das vezes, teve o material entregue sem qualidade, como também houve atrasos nas entregas, fazendo com que o tempo da obra se prolongue.

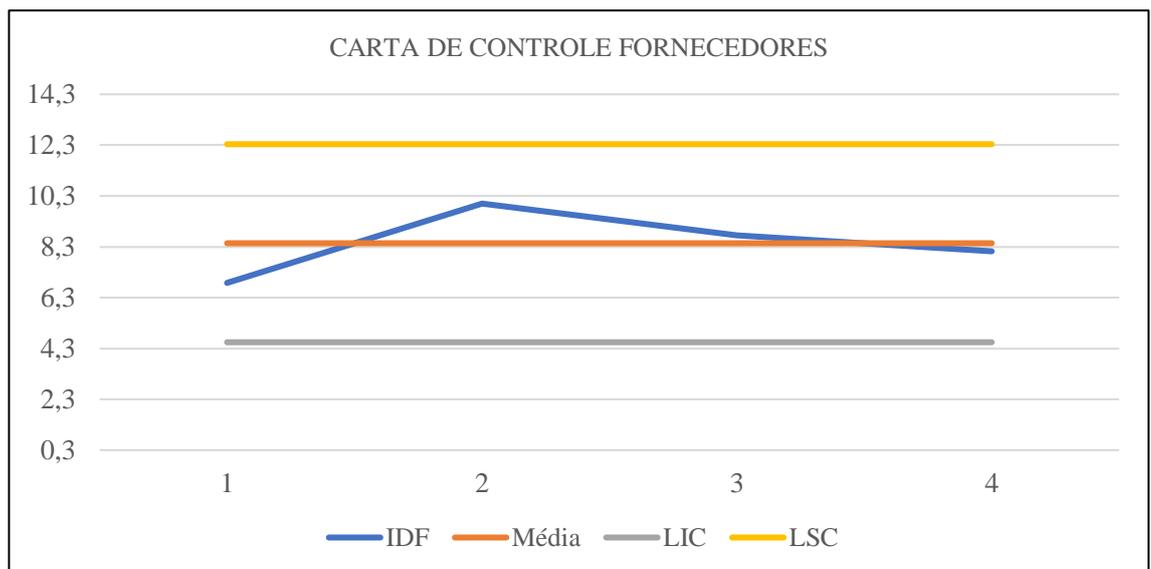
Utilizando os resultados da Tabela 6, foi feita a avaliação estatística dos dados, utilizando-se da estatística robusta e da carta de controle, conforme apresentado na Tabela 7.

Diante da tabela apresentada, percebe-se que o fornecimento de materiais apesar de apresentar um índice abaixo em alguns fornecedores, como por exemplo o fornecedor de areia, o processo é estável, porém não tem capacidade de atender aos padrões exigidos pela empresa. As causas desta falta de capacidade podem estar associadas ao retrabalho, como também o retardo na entrega dos produtos, e, produtos com qualidade insatisfatória. No gráfico da carta de controle (Gráfico 7) pode-se observar o IDF permaneceu dentro do limite de controle.

Tabela 7- Análise de estabilidade e capacidade dos fornecedores

Análise Estatística Descritiva	Fornecedores
IDF1	6,88
IDF2	10
IDF3	8,75
IDF4	8,13
Limite Inferior Teórico	0,00
Limite Superior Teórico	1,00
Mínimo	6,88
Primeiro Quartil	7,82
Mediana	8,44
Terceiro Quartil	9,06
Máximo	10,00
Média	8,44
Amplitude interquartílica	1,25
Desvio padrão	1,30
Limite de controle inferior	4,54
Limite de controle superior	12,34
Teste de estabilidade	ESTÁVEL
Limite de Especificação Inferior	0,00%
Limite de Especificação Superior	80,00%
Teste de Capacidade	NÃO CAPAZ

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 7- Carta de controle de disponibilidade

Fonte: Autor (2022)

4.3.4 Avaliação da estabilidade do método

Na empresa estudada, a medição desse indicador de método de trabalho foi executada através de verificações quinzenais, com o preenchimento do *checklist* de vistoria (Apêndice C), realizado por um Engenheiro Civil e um Técnico de Edificações, tendo como finalidade classificar a aderência aos processos de execução da obra. Foram realizadas dez vistorias, onde as mesmas geraram notas, gerando uma base de dados que auxiliou na criação do indicador de aderência ao método (Quadro 4).

Quadro 4-Resumo da nota final de cada vistoria

Data da Visita	Nota Final	Ocorrências
20/05/2021	70%	Material com baixa qualidade
05/06/2021	90%	Atraso na entrega de materiais
22/06/2021	80%	Não evidenciado Inspeção técnica para drenagem
02/07/2021	100%	-
19/07/2021	60%	Pavimentação Irregular
09/08/2021	80%	Espaçamento de paralelepípedo não respeitado
23/08/2021	60%	Pavimentação Irregular
06/09/2021	80%	Escoramento lateral não executado
24/09/2021	60%	Pavimentação Irregular
11/10/2021	100%	-

Fonte: Autor (2022)

A nota final de cada vistoria é um somatório dos pontos, diante disso, verifica-se se esse processo há estabilidade (Tabela 8).

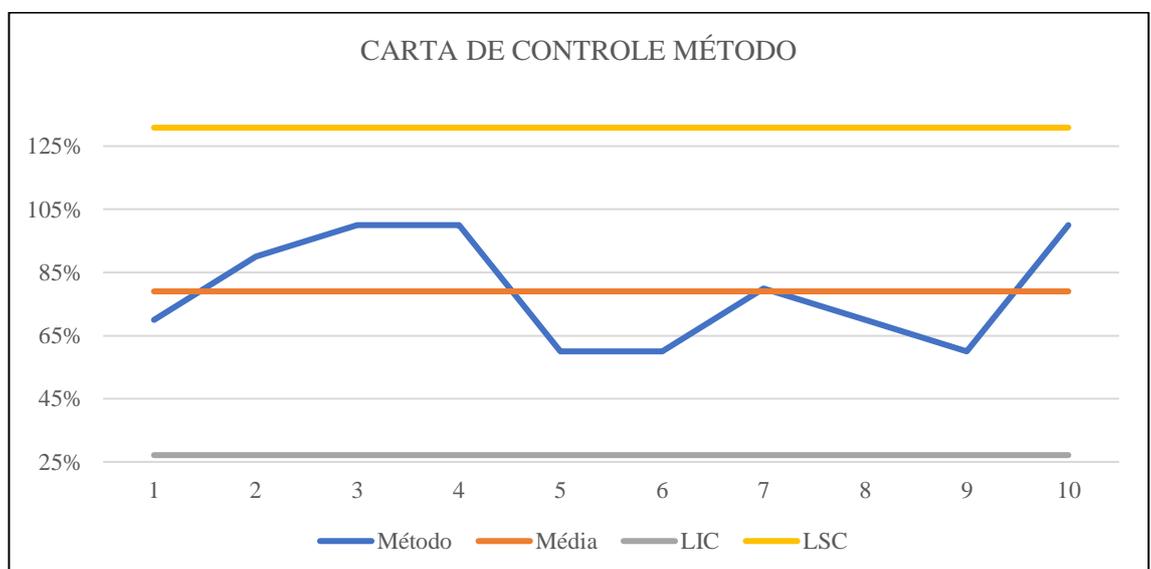
É possível verificar que a empresa apresenta uma estabilidade, porém não houve uma capacidade em atender os parâmetros defendidos, fica evidente ao analisar no Quadro 4, que não há um padrão de qualidade, muitas irregularidades, acabando em retrabalho, pois quando o fiscal vê uma ocorrência, o m² da rua já executado não é pago, então a empresa precisa refazer de acordo com os padrões exigidos.

Para uma melhor análise da capacidade desse processo foi feito do gráfico de carta de controle (Gráfico 8), onde observa-se oscilações entre uma visita e outra, ou seja, o processo não teve um controle de melhorar a cada ocorrência.

Tabela 8- Análise de estabilidade e capacidade de método

Data da Visita	Nota Final
20/05/2021	70%
05/06/2021	90%
22/06/2021	80%
02/07/2021	100%
19/07/2021	60%
09/08/2021	80%
23/08/2021	60%
06/09/2021	80%
24/09/2021	60%
11/10/2021	100%
Limite Inferior Teórico	0,00%
Limite Superior Teórico	100,00%
Mínimo	60,00%
Primeiro Quartil	62,50%
Mediana	80,00%
Terceiro Quartil	87,50%
Máximo	100,00%
Média	78,00%
Amplitude interquartílica	25,00%
Desvio padrão	15,49%
Limite de controle inferior	31,52%
Limite de controle superior	124,48%
Teste de Estabilidade	ESTÁVEL
Limite de Especificação Inferior	0,00%
Limite de Especificação Superior	85,00%
Teste de Capacidade	NÃO CAPAZ

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 8- Carta de controle do método

Fonte: Autor (2021)

4.3.5 Resumo dos indicadores estudados

Com base no que foi apresentado, o Quadro 5 mostra o resumo das análises estatísticas de estabilidade e capacidade de cada indicador avaliado.

Quadro 5- Resumo dos indicadores avaliados na obra

INDICADORES ANALISADOS						
Elemento de Produção	Indicador	O que avalia	Período	Valor Recomendável	Estabilidade	Capacidade
Mão de Obra	Absenteísmo	Atrasos, faltas e saídas antecipadas no expediente	Mensal	1,5% e 2,7%	ESTÁVEL	CAPAZ
	Rotatividade	Contratação Demissão	Mensal	5%	ESTÁVEL	NÃO CAPAZ
Máquinas	Disponibilidade	Perdas no processo de produção	Mensal	85%	ESTÁVEL	NÃO CAPAZ
Material	Avaliação de fornecedores de materiais	Desempenho dos fornecedores de materiais	A cada Entrega	>80%	ESTÁVEL	NÃO CAPAZ
Método	Processo Padronizado	Mecanismo que compõem o processo de produção	Semanal	>85%	ESTÁVEL	NÃO CAPAZ

Fonte: Autor (2022)

Dentre os cinco indicadores avaliados, quatro foram estáveis e não capazes de atender as especificações pré-definidas, seja em função de atrasos na obra, qualidade do serviço ofertado ou até mesmo não realizar a quantidade de pavimentação planejada para a semana. O único indicador que apresentou ser estável e capaz foi o absenteísmo, capaz de atender a especificação de 2,7%.

Ao realizar uma análise qualitativa dos resultados, pode-se perceber que o processo de pavimentação e pedra granítica se mostrou estável, mesmo com atrasos e retrabalhos durante a obra, mas não foram capazes de cumprir o padrão estabelecido. E com relação às melhorias, foram analisados os pontos com base nos questionamentos de Rother e Shook visto no 2.8.1 e nos critérios de prazo do orçamento da obra, foi montado um Mapa de Fluxo de Valor Futuro.

4.4 Propostas de melhoria para a estabilidade do fluxo de valor

Nesta seção são apresentadas as propostas para melhorar a estabilidade do fluxo de valor em relação aos 4M.

4.4.1 Propostas de melhoria para a mão de obra

Embora a variabilidade da mão de obra é considerada estável, os índices de rotatividade estão no limite de controle para instabilidade, algumas ações podem ser realizadas para diminuí-lo, tais como:

- Programas de treinamentos para os funcionários;
- Premiações mensais para os funcionários mais presentes;
- A equipe de RH poderia realizar pesquisas mensais sobre a satisfação dos funcionários;
- Justificativa de faltas sejam apresentadas;
- Cálculo mensal dos indicadores de absenteísmo e rotatividade;

Apesar do setor de construção ser conhecido como um mercado de alta rotatividade, é importante que a empresa diminua esse índice, pois acarreta em prejuízos para empresa, além da queda de produtividade. Por isso o setor de gestão de pessoas implantar ações para minimizar esse problema.

4.4.2 Propostas de melhoria para as máquinas

Como proposta para melhoria das máquinas, a sugestão é utilizar a manutenção produtiva total (TPM), pois com ele é possível identificar falhas, quebras dos equipamentos de modo preventivo, além de aumentar a eficiência e produtividade do processo, minimizando os riscos de acidente e promovendo uma manutenção produtiva total das máquinas, e, melhorando o conhecimento do operário sobre seu equipamento.

Fica como sugestão também a utilização mensal do indicador de disponibilidade média dos equipamentos, a fim de melhorar a estabilidade e a capacidade a cada mês.

Pode ser utilizado como forma de elemento visual o *Andon*, pois é um equipamento que detecta falhas nos equipamentos em tempo real, auxiliando o operador a manter o ritmo de trabalho.

4.4.3 Propostas de melhoria para os materiais

O indicador de materiais apesar de ser considerado estável, os fornecedores tiveram notas baixas em relação a qualidade e atrasos dos materiais, com isso é necessário fazer

melhorias com relação à avaliação de escolha dos fornecedores e qualidade dos materiais, são elas:

- Realizar uma pesquisa de fornecedores, com critérios de credibilidade, custo-benefício, e, que possuam certificação em qualidade e licença ambiental, a fim de evitar futuros problemas;
- Formular junto com os fornecedores um cronograma de entrega de material;

A relação fornecedores e empresa precisa ter confiabilidade e estabilidade, pois sem elas o tempo de execução da obra pode atrasar, além de haver retrabalhos durante o processo.

4.4.4 Propostas de melhoria para o método

As melhorias com relação ao método envolvem:

- Estudar a viabilidade de implantar o 5S na empresa;
- Analisar como está sendo feito o planejamento semanal, para fazer melhorias explicitando a sequência de atividades e as metas semanais;
- Utilizar o *Kanban* como uma forma de gerenciamento visual, para ter uma melhor visão do fluxo de trabalho, além do aumento da produtividade e eliminação dos gargalos de produção, pois os processos são facilmente observáveis, diminuindo o tempo de comunicação repetitiva e permitindo que todos entendam como funciona o processo.

4.5 Mapa de fluxo de valor futuro

O MFV futuro foi desenhado com base na análise do MFV do Estado Atual, a partir da análise dos pontos a serem melhorados do item 4.4. Para auxiliar na confecção do mapa, foi utilizado o procedimento proposto por Rother e Shook (2003):

1) Qual o *takt time*?

Para esse estudo, o tempo de *takt* é calculado de acordo com o prazo de contrato para execução da obra. Considerou uma jornada de trabalho de 8 horas de trabalho descontando o tempo de intervalo, com cinco dias da semana, totalizando 21 dias no mês. O tempo de contrato da obra é de seis meses executar 910,16 m de extensão total. Com isso, foi possível calcular um *takt time* 64,31 minutos por metro de pista.

2) Produzir para um supermercado com produtos já finalizados ou diretamente para expedição?

No estudo em questão, o produto vai diretamente para expedição, pois é um projeto único, o que é produzido vai para o cliente em um sistema puxado.

3) Onde utilizar fluxo contínuo?

Os procedimentos para a execução da rua com pavimentação granítica, tem diferentes tempos de ciclos, para implementar o fluxo contínuo é necessário seguir um método estruturado, sem que haja paradas de um processo para o outro, aumentando a capacidade e estabilidade entres esses processos.

4) Será preciso introduzir sistemas puxados?

Não, pois este tipo de projeto já trabalha com um sistema puxado, onde cada projeto executado de acordo com um contrato enviado.

5) Qual único ponto da cadeia será usado controlar e programar a produção?

O Ponto de cadeia a ser usado, se dá início quando o planejamento e orçamento da obra é aprovado e repassado para a empresa contratada dos serviços. A empresa em questão precisa fazer o controle e planejamento semanal da obra, assim que é feito esse planejamento, é repassado para o encarregado da obra que executa as atividades passadas. A cada semana o fiscal da obra juntamente com o engenheiro, analisa tudo o que foi executado e anota as ocorrências, repassa para o coordenador para planejar as tarefas da semana seguinte, seguindo um sistema puxado.

6) É possível nivelar a informação em um processo puxado?

A empresa produz de acordo com o projeto de contrato, então não tem um mix de produção, e sim vários serviços que compõe o produto final que é a pista pavimentada.

7) Qual o incremento de trabalho que será liberado do processo puxado?

É liberado a PTS para o encarregado da obra, o qual deve repassar para os demais funcionários.

8) Quais as melhorias necessárias nos processos?

Com relação as melhorias sob o estado atual, estão relacionadas principalmente com a estabilidade e a capacidade do processo, são elas:

- Capacitar e treinar funcionários;
- Premiar funcionários que mais se destacaram;
- Padronização do modelo de Planejamento Semanal da obra
- Utilizar um plano de manutenção preventiva e preditiva dos equipamentos;
- Utilizar cronogramas mais completos de planejamento da obra e replanejamento semanal;
- Verificar a viabilidade da instalação de *Andons* de alerta nos equipamentos;

- Treinamento e utilização de *Kanban*, para uma melhor visualização e agilidade nos processos;
- Implementar o programa 5S na obra;

De acordo com a análise das questões acima, foi elaborado o MFV futuro (Figura 14), utilizando os dados dos tempos previsto no orçamento da obra, o cálculo do tempo de cada atividade é colocado no orçamento com base em outras obras executada pelas mesmas empresas.

Comparando os dois mapas, é possível observar que a principal mudança é o *lead time* do processo, onde no MFV atual de uma etapa para outra havia uma espera longa devido à manutenção o maquinário, falta de materiais e de funcionários, já no MFV futuro há um aumento no tempo de produção para a execução da pavimentação de 910,16m seja de 66,5 dias e o tempo de agregação de valor no processo foi de 55,5 dias, ou seja, 83,4%,., reduzindo o tempo de espera que antes era de 37,7% para 16,5%, tendo uma diferença 21,2%, estima-se uma redução do tempo de execução do projeto de 122 para 66,5 dias.

A ordem de produção semanal será gerada com dois dias de antecedência, para que o mestre de obra instrua melhor os colaboradores em cada atividade, de acordo com as ocorrências da semana; outra ação a ser implementada é a instalação de *Andons* onde ser instalada nas máquinas, gerando uma maior produtividade, eficiência e diminuição do tempo de espera. Além disso, também será feito um quadro de acompanhamento para garantir que a execução dos serviços esteja de acordo com as especificações técnicas presentes no escopo do projeto, evitando retrabalhos.

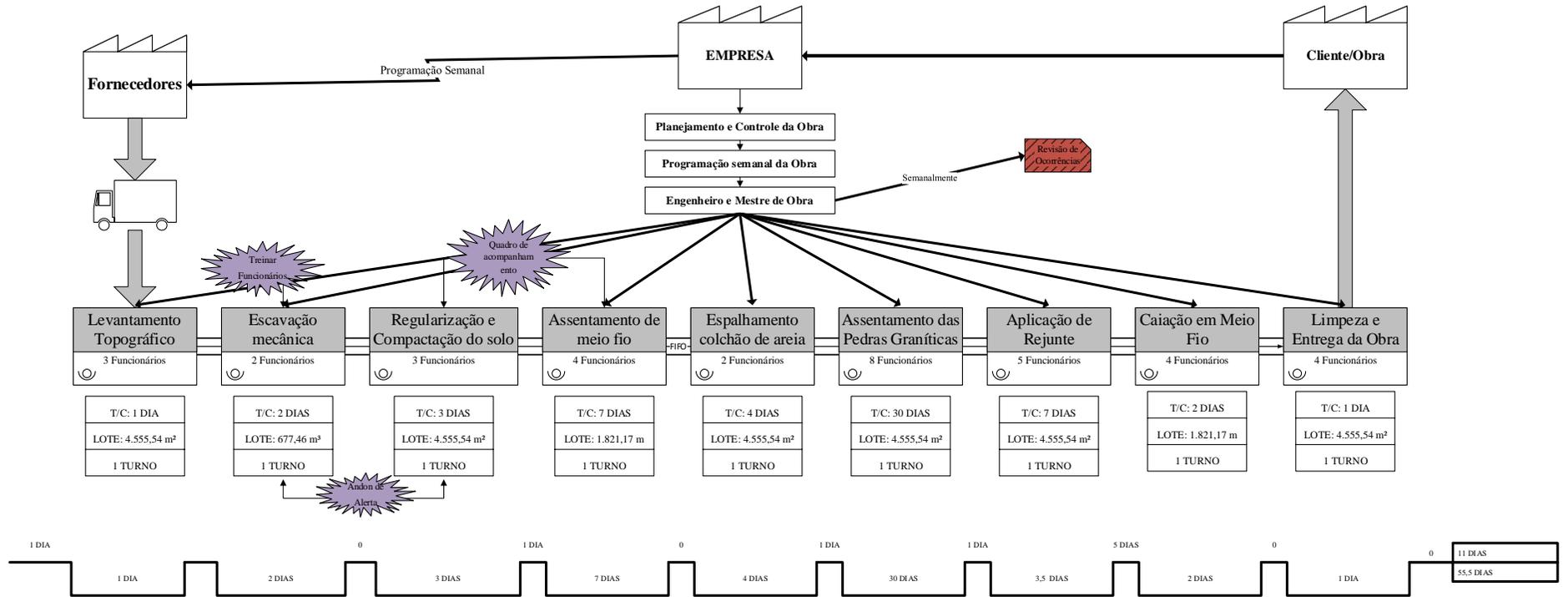
No Quadro 6 é apresentado um resumo dos principais resultados esperados com a implantação das melhorias propostas no estado futuro.

Quadro 6- Principais resultados esperados

Indicador	Resultado
<i>Lead Time</i>	21,2% menor
Tempo de agregação de valor	21,1% maior
Prazo de entrega	Diminuição em 55,5 dias
Mão de Obra	Funcionários treinados, diminuição no índice de absenteísmo e retrabalhos.
Retrabalho	Diminuição dos retrabalhos devido ao quadro de acompanhamento e revisão de ocorrências semanalmente.
<i>Andon</i> de alerta	Utilização do kaizen no processo, diminuindo o tempo de inatividade do maquinário

Fonte: Autor (2022)

Figura 14- Mapa de fluxo de valor futuro



Fonte: (Autor, 2022)

4.6 Dificuldades na proposta de implantação de práticas do *Lean construction*

Essas melhorias propostas anteriormente, são com base nos princípios do LC, visto que obras de pavimentação granítica possuem algumas particularidades, que acaba limitando o uso de algumas práticas, sendo elas:

- Mão de Obra com baixa qualificação;
- Dependência das condições climáticas para execução da obra;
- Logística de armazenamento e entrega de material na obra, muitas vezes ficam na rua, pois não existe um local adequado para estocagem, acarretando em desfalque nos materiais;
- Influência política nos prazos para entrega da obra;
- Impossibilidade de isolamento completo da área de trabalho, ocasionando na passagem das pessoas durante a execução dos serviços, não respeitando o tempo de cura, fazendo com que a empresa precise refazer todo o trabalho (Figura 15)
- Variabilidade do terreno.

Figura 15- Uso indevido da população na rua em execução



Fonte: Autor (2021)

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a estabilidade e capacidade do fluxo de valor em obras de pavimentação granítica sob a perspectiva do *Lean construction*, através da avaliação da análise do mapa de fluxo de valor atual e a estabilidade e capacidade dos indicadores estabelecidos relacionados aos 4M. Com isso, foi capaz de analisar e propor melhorias no fluxo produtivo da obra.

O MFV tem como uma das principais vantagens a facilidade para verificar e compreender o processo produtivo, sendo eficaz para encontrar pontos críticos de forma global. Assim, quando são propostas as melhorias, elas englobam todo o fluxo produtivo e não apenas setores. A construção do MFV atual permitiu que fossem identificados desperdícios, como atraso na obra por espera, atraso na entrega das matérias primas, movimentação e transporte desnecessário do maquinário, além do alto nível de retrabalho. Já o MFV futuro foi construído com enfoque nas atividades que agregam valor ao produto final, eliminado assim um percentual considerável de desperdícios encontrados.

Para avaliar a estabilidade e capacidade do processo, foi utilizada a estimativa robusta nos seguintes indicadores: Para avaliar a mão de obra foi calculado o índice de absenteísmo e rotatividade dos funcionários, no qual ambos tiveram estabilidade, mas apenas o absenteísmo tem a capacidade de atender as especificações estabelecidas. Na avaliação nas máquinas foi calculado a disponibilidade do maquinário, apesar de apresentar bastante desvios e paradas durante a execução da obra, o indicador se manteve estável, mas também não foi capaz. O material foi avaliado através do IDF, o mesmo se mostrou estável, mas não obteve capacidade. Por fim para calcular o método, foi utilizado um indicador de padronização do processo, tendo estabilidade no processo, mas não sendo capaz de atender aos parâmetros. A estabilidade observada nos indicadores associados aos 4M demonstra que é um campo produtivo para a implantação de ferramentas da ME, já que a mesma é suporte para a melhoria contínua.

Como proposta para futuros trabalhos, recomenda-se fazer uma análise do impacto da falta de estabilidade nas etapas do processo, e, desenvolver um modelo padrão para a avaliação da estabilidade no setor de construção civil.

Esta monografia também teve papel importante para contribuição na literatura, pois ainda há escassez de trabalhos voltados para a avaliação de estabilidade e capacidade nas obras de pavimentação granítica. Por fim, diante dos dados apresentados neste trabalho, os objetivos principais e secundários deste trabalho foram atingidos.

REFERÊNCIAS

- ABDAL, A. **Sobre regiões e desenvolvimento: o processo de desenvolvimento regional brasileiro no período 1999-2010**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015. p. 261.
- ANTUNES JUNIOR, J. A.V. A lógica das perdas nos sistemas produtivos: uma revisão crítica. **Anais**. In: **XIX Encontro Nacional da ANPAD**, João Pessoa. 1995.
- ARANTES, P. C. F. G. **Lean Construction – Filosofia e Metodologias**. 108 f. Dissertação de Mestrado – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008. Disponível em: <<http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/60079/1/000129800.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654: controle tecnológico de materiais componentes do concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean construction: Stabilizing work flow. In: Alarcón, L. (Ed.). **Lean construction**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1997. p. 101-110.
- BARROS NETO, J. P.; ALVES, T. C. L. **Análise estratégica da implementação da filosofia Lean em empresas construtoras**. Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, São Paulo, v. 11, 2008. Disponível em: <<https://Leanconstruction.wordpress.com/2008/09/10/artigo-analise-estrategica-da-implementacao-da-filosofia-Lean-em-empresas-construtoras/>>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- BOLVIKEN, T.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. Os resíduos de produção da construção. In: **Anais da Conferencia Anual do Grupo Internacional de Lean Construction**. Oslo. Noruega. 2014.
- BRAGLIA. M.; CARMIGNANI. G.; ZAMMORI. F. A New Value Stream Mapping Approach for Complex Production Systems. **International Journal of Production Research**. 44. 2006. p. 3929-3952.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **IPR-736: álbum de projetos- tipos de dispositivos de drenagem**. 4 ed. Rio de Janeiro, 2011.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. Campinas, 2009. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2009.
- CHENG, T. C. E.; PODOLSKY, S. **Just-in-time manufacturing: An Introduction**. U.K.: Chapman & Hall, 1993.
- CHITTURI, R.; GLEW. M.; PAULLS. D. J. Value Stream Mapping in a Jobshop. **International Conference on Agile Manufacturing**, ICAM. Durham: Durham University. p. 142–147. 2007.

COSTA, L. C. Subcontratação e informalidade na construção civil no Brasil e na França. **Caderno CRH**, Salvador, v. 24, n. 62, p. 413-434. 2012.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DIAS, M. Turnover: o que é, como calcular e qual o impacto da rotatividade na empresa. **Gupy**. 30 jul. 2021. Disponível em: <https://www.gupy.io/blog/turnover>. Acesso em: 04 jan. 2022.

FONTANINI, P. S. P. **Mentalidade enxuta no fluxo de suprimentos da construção civil - Aplicação de macro mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio**. São Paulo. 259 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

FREITAS, S. J. **Avaliação da Estabilidade, Capacidade e Implantação de Práticas Lean em Obras de Infraestrutura e Pavimentação Viária**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

GALLARDO, C. **Princípios e ferramentas do *Lean thinking* na estabilização básica: diretrizes para implantação no processo de fabricação de telhas de concreto pré-fabricadas**. Campinas, 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Arquitetura e Construção. Campinas, 2007.

GIL, C. A. Como Elaborar Projetos de Pesquisa, 6ª edição. São Paulo, **Atlas**, 2017.

GROOVER, M. P. **Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work**. **Upper Saddle River**, NJ: Pearson Prentice Hall. 2007.

GUGGENBERGER, L. F.; ROTONDARO, A. **Por uma economia circular na indústria da construção civil**. Blog Exame. São Paulo, 09 fev. 2021. Disponível em: <<https://exame.com/blog/impacto-social/por-uma-economia-circular-na-industria-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 22 set. 2021.

KAMADA, S. Estabilidade na produção da Toyota do Brasil. **Lean Institute Brasil**. 8 de jun. 2007. Disponível em: https://www.Lean.org.br/comunidade/artigos/pdf/artigo_86.pdf. Acesso em: 26 jun. 2021.

KIND, R. Análise de capacidade de processo. **BPX Consultoria**. 8 mai. 2019. Disponível em: <<https://bpxconsultoria.com.br/analise-de-capacidade-de-processo/>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

KISHIDA, M.; SILVA, A.; GUERRA, E. **Benefícios da implementação do Trabalho Padronizado na ThyssenKrupp**. Disponível em: <http://www.Lean.org.br/download/artigo_37.pdf> Acesso em: 14 set. 2021.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and it application to construction**. Espoo, Finland: VTT, 2000.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE). Stanford, EUA. 1992.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIKER, J. K.; MEIER, D. O Modelo Toyota: manual de aplicação. Porto Alegre: **Bookman**, 2007.

LIKER, J.K. O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: **Bookman**, 2005.

LIKER, J.K. Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. 1ª ed, Porto Alegre: **Bookman**, 2005.

LIMA, C, B, M. **A aplicação da filosofia Lean Construction em empresas baianas: um estudo comparativo com o cenário brasileiro. Salvador, Bahia**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, escola politécnica, programa de pós graduação em engenharia INDUSTRIAL – PEI, 2018.

MCDONALD, T.; AKEN, E.V.; RENTES, A.F. Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. V. 5. **International Journal of Logistics Research and Applications**. 2002. 213 – 232 p.

MCGEE, D. Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to Process Improvement. In.: American Society for Quality Congress, **Proceedings**. Denver, USA, nov. 2005.

MONTEIRO, M. A. M. RAMOS, M. **Avaliação da Relação entre a Importância Estratégica e o Desempenho de Práticas da Produção Enxuta: estudo de caso em um Centro de Distribuição**. Castanhal, Pará. Dissertação (TCC) – Engenharia de Produção, Universidade do Estado do Pará, 2015.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.

NAKAJIMA, **Seiichi. Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance**. Tradução Mário Nishimura. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989. 105 p.

NASCIMENTO, A. C. M. **Lean Construction: planejamento e controle em obras de edificações**. (Monografia de especialista em gestão em construção civil). Niterói: Universidade Federal Fluminense– Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, 2009.

NOGUEIRA, M. G. S. **Proposta de método para avaliação de desempenho de práticas da produção enxuta – ADPPE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NORIE. **Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação**. Disponível em: <http://www6.ufrgs.br/norie/indicadores/frame_lista1.htm>. Acesso em: jan. 2022.

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: **Bookman**, 1997.

PÁDUA, R. C. **Implementação de Práticas de *Lean Construction* em uma Obra Residencial em Goiânia** – Estudo de Caso. Tese (Mestrado Profissional) - Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Goiânia. 2014.

PICCHI, F. A.; GRANJA, A. D. Construction Sites: Using Lean Principles to Seek Broader Implementations. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 12, 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings**. Elsinore: IGLC, 2004.

PICCHI, F. A; **Oportunidades de aplicação do Lean Thinking na construção**. v. 3. 1. ed. Porto Alegre, 2003. p 7-23.

RAY, L. R.; STENGEL, R. F. A Monte Carlo Approach to the Analysis of Control System Robustness. **Automática**, vol 29.No. 1, pp. 229-236, 1993.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. Qualidade Controle Estatístico do Processo. **Série monográfica Qualidade**. FEENG/UFRGS – Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando o fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil. 2002.

ROTHER, M.; SHOOK. J. **Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda**. Cambridge, NY: Lean Enterprise Institute. 2003.

SAHOO, A.K.; SINGH, N.K.; SHANKAR, R.; TIEARI, M.K. **Lean philosophy: Implementation in a forging company**, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*. London, 2008.

SARCINELLI, Wanessa Tatiany. **Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos**. 2008. Monografia (Especialista em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008;

SAURIN, T. A. **Waste in construction: concept, types & examples**, Ufrgs, Artigo. 2015. SENAI (Serviço Nacional de Apoio à Indústria). **Elementos de Apoio para o Sistema APPCC**. 2 ed. Brasília-DF. Projeto APPCC Indústria. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE. p 297-352. 2000.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**; trad. Eduardo Schaan, 2ª edição - Porto Alegre, Artes Médicas, 1996.

SHINGO, S. **Sistemas de Produção Com Estoque Zero: O sistema Shingo para Melhorias Contínuas**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SMALLEY, A. **Basic Stability is Basic to Lean Manufacturing Success**. 2008. Disponível em: <http://www.Lean.org/Library/Creating_Level_Pull_Article_1.pdf> Acesso em: 10 jun. 2021.

THÜRER, M.; TOMAŠEVIĆ. I.; STEVENSON. M. On the Meaning of ‘Waste’: Review and Definition. **Production Planning and Control**. V. 28. 2017. p. 244–255.

TREVILLE, S; ANTONAKIS, J. Could Lean production job design be intrinsically motivating, contextual, configurational, and levels-of-analysis issues. **Journal of Operations Management**, v. 24, n. 2. 2005. p. 99-123.

TRIVELLATO, A. A. **Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 73 f. 2010.

WIGINESCKI, B. B. **Aplicação dos Princípios da Construção Enxuta em obras pequenas e de curto prazo: um estudo de caso**. 115 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/24493/Wiginescki_Dissertacao_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jun. 2021.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. Simon and Schuster, Nova Iorque, EUA, 1996.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 5a. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WOMACK, J.; JONES D. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J.; JONES D.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

APÊNDICES**APÊNDICE A- Entrevista com o coordenador e encarregado da obra**

QUESTIONÁRIO
Os funcionários recebem algum treinamento durante o ano?
A empresa faz uso de algum indicador de mão-de-obra?
Como é feita a programação diária da produção?
Existe documentação sobre pavimentação conformes e não-conformes?
Como a empresa faz para medir o grau de qualidade das matérias-primas?

APÊNDICE B- Checklist de avaliação dos fornecedores de materiais

CHECK LIST FORNECEDORES					
Empresa:					
Tipo de Fornecedor		()Revendedor	()Fabricante	()Outro	
Endereço:		Bairro:	Município:		
Telefone:		E-mail:			
Material Fornecido:					
Tempo de atividade no Ramo:					
Possui Sistema de Gestão da Qualidade Certificado?					
Nível de satisfação					
Muito Insatisfeito(MI): 0 Insatisfeito(I): 2,5 Razoável(R): 5 Bom(B):7,5 Satisfeito(S):10					
Questões					
Nível de satisfação	MI	I	R	B	S
Avaliação com relação ao preço					
Preço					
Forma de Pagamento					
Avaliação com relação à qualidade do material					
O produto fornecido atende as especificações técnicas descritas					
Avaliação com relação à entrega					
Quantidade de produto de acordo com a nota fiscal					
Pontualidade na entrega					
Qualidade no descarregamento do produto					
Avaliação com relação ao atendimento					
Antes da compra					
Pós-Venda					
Total					

APÊNDICE C- Checklist de vistoria da obra

CHECK-IN LIST DE VISTORIA	
Endereço da Obra: _____	
Condição Climática: () Nublado () Chuvoso () Ensolarado	
Dia da Visita: ___/___/_____ Horário: _____	
Critério de Avaliação: Sim- 10,0 Não- 0,00	Nota
1. Há placa de obra?	
2. Existe alguma anomalia sem registro na qualidade?	
3. Meio-fio está de acordo com o padrão estabelecido?	
4. Execução de escoramento lateral do meio fio?	
5. Pavimentação está sendo executada de acordo com o padrão estabelecido?	
6. Espaçamento pedras graníticas está respeitando 3,5 cm?	
7. Projeto foi obedecido sem modificações?	
8. Requisitos legais são atendidos?	
9. Estão obedecendo o prazo de 7 dias para regularizar as ocorrências?	
10. O RDO está sendo atualizado todos os dias?	
TOTAL	
Trecho Regular(m²):	Trecho Irregular(m²):
Observações e Ocorrências	