

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MONTAGEM INDUSTRIAL

RICARDO CHAGAS TOLENTINO

**ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO DE
FÔRMAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS NO MÉTODO CONSTRUTIVO PAREDES
DE CONCRETO**

Niterói, RJ

2021

RICARDO CHAGAS TOLENTINO

**ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO DE
FÔRMAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS NO MÉTODO CONSTRUTIVO PAREDES
DE CONCRETO.**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Orientador: Miguel Luiz Ribeiro Ferreira, D.Sc.

Niterói, RJ

2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

T649e Tolentino, Ricardo Chagas
ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO DE
FÔRMAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS NO MÉTODO CONSTRUTIVO PAREDES DE
CONCRETO / Ricardo Chagas Tolentino ; Miguel Luiz Ribeiro
Ferreira, orientador. Niterói, 2021.
146 f. : il.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal
Fluminense, Niterói, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PMI.2021.mp.12774019770>

1. Monitoração. 2. Produtividade. 3. Ociosidade. 4.
Fôrmas de alumínio. 5. Produção intelectual. I. Ferreira,
Miguel Luiz Ribeiro, orientador. II. Universidade Federal
Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

RICARDO CHAGAS TOLENTINO

ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA FABRICAÇÃO DE FÔRMAS DE ALUMÍNIO UTILIZADAS NO MÉTODO CONSTRUTIVO PAREDES DE CONCRETO.

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Aprovada em 05 de maio de 2021.

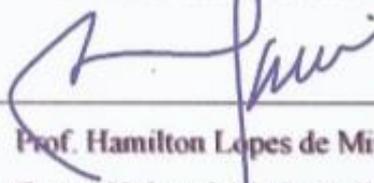
BANCA EXAMINADORA



Prof. Miguel Luiz Ribeiro Ferreira, D.Sc. – Orientador
Universidade Federal Fluminense (UFF)



Prof. Cassia Andréa Ruotolo Morano, D.Sc.
Universidade Federal Fluminense (UFF)



Prof. Hamilton Lopes de Miranda Junior, D.Sc.
Centro Universitário La Salle (UNILASALLE)

Niterói, RJ

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo dos Santos Tolentino e Andréa Márcia Chagas Tolentino.

AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar a minha jornada e por me dar forças para superar os quebramolas da vida.

Aos meus pais que zelaram pela minha educação e deram todo o suporte para que eu pudesse realizar os meus objetivos.

Ao meu professor e orientador Miguel Ferreira pela paciência e orientação que através de inúmeras reuniões me ajudou a realizar este trabalho e que sem os seus conhecimentos esse trabalho não seria possível.

Aos professores do Mestrado Profissional em Montagem Industrial da UFF.

À Empresa SH por ter permitido a coleta dos dados para o experimento.

Aos amigos de trabalho do setor de projetos da Empresa SH. Destaque ao Carlos Vitor por ter contribuído significativamente na coleta dos dados para a carta de amostragem.

Aos meus sobrinhos: Arthur Tolentino, Miguel Maia e Bernardo Maia.

Às minhas avós: Graciete (in memoriam) e Margarida (in memoriam).

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um modelo estatístico para monitorar e estimar a produtividade para a fabricação de fôrmas de alumínio utilizadas no processo construtivo Paredes de Concreto. Foram selecionados três produtos e coletadas informações sobre a produtividade intrínseca, ociosidade e produtividade global do processo para a produção das fôrmas de alumínio na Empresa SH Indústria. O experimento consiste em modelar o processo produtivo e realizar simulações utilizando o software @risk da Palisade Corporation. Na análise da produtividade intrínseca apresentou-se as FPA's para conhecer o comportamento da produtividade, as probabilidades de ocorrência e o gráfico Tipo Tornado para estudar as atividades que potencializam ou diminuem a produtividade intrínseca. No estudo da ociosidade, apresentou-se duas metodologias para a coleta dos dados (carta de amostragem e entrevista subjetiva), dessa forma, foi possível realizar comparações entre as metodologias. Através da bibliografia especializada foi possível validar o experimento, quando comparado com os dados reais da indústria, pois os resultados atenderam os limites mínimos e máximos. No item da produtividade global, avaliou-se as FPA's e as funções de densidade de probabilidade de cada produto e comparou-se com as simulações dos dados reais apropriados. Os resultados foram bem-sucedidos pois as informações da média, moda e mediana de cada produto corresponderam com as simulações dos dados reais apropriados. Dessa forma, torna-se válido a utilização do modelo proposto no experimento para a monitoração da fabricação das fôrmas de alumínio.

Palavras-Chave: Monitoração; Produtividade; Ociosidade; Fôrmas de alumínio

ABSTRACT

This work presents a statistical model to monitor and estimate the productivity for the manufacture of aluminum molds used in the Concrete Walls construction process. The company has produced three high-tech products and products with specialty and productivity. The experiment consists of modeling the productive process and performing simulations using Palisade Corporation's @risk software. In the analysis of intrinsic product has-down the FPA's know the behavior of the productivity, the probabilities of occurring and the graph Type transformed in the culture activities that potentialize or diminish the intrinsic productivity. In the study of the west, methodologies for data collection (sample letter and interview) were presented, in this way, it was possible to make comparisons between the methodologies. Through the bibliography consulted, one can validate the experiment, when compared with the real ones of the industry, because the results are more limited and longer. No item of overall productivity, evaluated as FPA's and as probability characteristics of each product, and compared to the simulations of the appropriate real data. The results were successful, since the information about the average, fashion and median of each product were evaluated as simulations of the real ones. In this way, the use of the inexperienced model for monitoring the manufacture of aluminum frames becomes available.

Keywords: Monitoring; Productivity; Idleness; Stainless Steel Fittings.

SUMÁRIO

FOLHA DE ROSTO, p.1

FOLHA DE APROVAÇÃO, p.3

DEDICATÓRIA, p.4

AGRADECIMENTOS, p.5

RESUMO, p.6

ABSTRACT, p.7

SUMÁRIO, p.8

LISTA DE FIGURAS, p.11

LISTA DE TABELAS, p.14

LISTA DE ABREVIATURAS, p.16

1 INTRODUÇÃO, P.18

1.1 APRESENTAÇÃO, P.18

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO, p.20

1.3 O PROBLEMA DA PESQUISA, p.20

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA, p.21

1.5 JUSTIFICATIVA, p.21

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO, p.23

2 METODOLOGIA, p.24

2.1 ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO, p.24

2.1.1 Referências Principais, p.27

2.1.2 Referências Secundárias, p. 29

2.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL, p.29

2.3.1 Caracterização da amostra, p.31

2.3.1.1 Fôrma de alumínio parede 600x2400mm, p.32

2.3.1.2 Fôrma de alumínio parede 500x2400mm, p.34

2.3.1.3 Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm, p.36

2.3.2 Modelo de produtividade, p.37

2.3.3 Coleta de dados, p.40

2.3.3.1 Dados de Produtividade do Processo (Produtividade Intrínseca), p.41

2.3.3.1.1 Fôrma de alumínio parede 600x2400mm, p.41

2.3.3.1.2 Fôrma de alumínio parede 500x2400mm, p.44

2.3.3.1.3 Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm, p.44

2.3.3.2 Dados de ociosidade (Função de ociosidade), p.46

2.3.3.3 Dados da Produtividade Global Real (Para validar a Estimativa via Produtividade Intrínseca e Ociosidade), p.49

2.3.4 Processamento dos dados (Método de Monte Carlo), p.51

2.3.4.1 Produtividade Intrínseca, p.52

2.3.4.2 Ociosidade, p.58

2.3.4.2.1 Entrevista subjetiva, p.61

2.3.4.3 Produtividade global estimada, p.62

2.3.4.4 Produtividade global real apropriada, p.63

2.4 METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS, p.63

3 REFERENCIAL TEÓRICO, p.65

3.1 CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE, p.65

3.2 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE, p.74

3.3 FATORES DE IMPACTO NA PRODUTIVIDADE, p.78

3.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE, p.86

3.4.1 Benchmarking and Metrics (BM&M), p.86

3.4.2 Improved Baseline Method, p.89

3.4.3 O modelo SD-DES híbrido, p.90

3.4.4 Índice de Malmquist, p.93

3.4.5 DEA (Análise por Envoltória de Dados, em português), p.94

3.4.6 Simulação baseada em Fuzzy-Monte Carlo, p.95

3.4.7 Lógica Fuzzy e Fuzzy Híbrido, p.96

3.4.8 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), p.96

3.4.9 Intervalos de predição baseados em redes neurais artificiais (RNA), p.96

3.4.10 Regressão Polinomial Evolucionária (RPE), p.97

3.5 CARTAS DE CONTROLE, p.97

3.6 FÔRMAS DE ALUMÍNIO, p.99

3.7 MÉTODO DE MONTE CARLO, p.102

3.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, p.105

4 RESULTADOS, p.107

4.1 PRODUTIVIDADE INTRÍNSECA, p.107

4.2 OCIOSIDADE, p.119

4.2.1 Comportamento da ociosidade, p.119

4.2.1.1 Determinação da ociosidade via dados de campo, p.119

4.2.1.1.1 Comportamento da função ociosidade, p.119

4.2.1.1.2 Validação da ociosidade, p.120

4.2.1.1.3 Fatores de impacto da ociosidade, p.121

4.2.1.2 Determinação da ociosidade via especialistas, p.123

4.2.1.2.1 Comportamento adotando a Função Uniforme como Geratriz, p.123

4.2.1.2.2 Comportamento adotando a Função Triangular como Geratriz, p.124

4.2.1.3 Análise comparativa da ociosidade via dados de campo e através dos especialistas, p.125

4.3 PRODUTIVIDADE GLOBAL, p.126

4.3.1 Produtividade global estimada, p.126

4.3.2 Validação da Produtividade Global Estimada, p.128

5 CONCLUSÕES FINAIS, p.138

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p.139

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1 Distribuição quantitativa das citações por cada tema proposto, f.26
- Fig. 2 Quantidade de Textos por tema proposto, f.26
- Fig. 3 Quantidade de textos por tipo de documento, f.27
- Fig. 4 Porcentagem do ano de publicação das referências principais, f.27
- Fig. 5 Locais de publicação das referências principais, f.28
- Fig. 6 Porcentagem do ano de publicação das referências secundárias, f.29
- Fig. 7 Etapas do experimento para validação do modelo de estimativa da produtividade global, f.29
- Fig. 8 Área Fabril da empresa SH Formas, Andaimos e Escoramentos, f.31
- Fig. 9 Fôrma de alumínio parede 600x2400mm, f.32
- Fig. 10 Fluxo de produção da forma de alumínio parede 600x2400mm, f.34
- Fig. 11 Forma de alumínio canto interno 500x2400mm, f.35
- Fig. 12 Fluxo de produção da forma de alumínio parede 500x2400mm, f.36
- Fig. 13 Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm, f.36
- Fig. 14 Fluxo de produção da forma de alumínio canto interno 100x1800mm, f.37
- Fig. 15 Divisão do capítulo de coleta de dados, f.41
- Fig. 16 Carta de Amostragem, f.47
- Fig. 17 Instruções para a Carta de Amostragem, f.48
- Fig. 18 Entrevista Subjetiva, f.49
- Fig. 19 Sequência para o processamento dos dados, f.51
- Fig. 20 Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Produtividade Intrínseca, f.52
- Fig. 21 Ajuste de distribuições, f.53
- Fig. 22 Resultado Ajuste, f.54
- Fig. 23 Adicionar Output, f.55
- Fig. 24 Artista de distribuição, f.56
- Fig. 25 Configuração do programa, f.57
- Fig. 26 Simulação de Monte Carlo, f.57

- Fig. 27 Fator de ociosidade diária para cada atividade, f.58
- Fig. 28 Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Ociosidade, f.59
- Fig. 29 Ajuste de distribuição, f.59
- Fig. 30 Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Entrevista subjetiva, f.61
- Fig. 31 Definição de função - Ociosidade especialistas, f.62
- Fig. 32 1º análise da produtividade global real, f.63
- Fig. 33 relação entre produtividade ideal, obtida e real, f.66
- Fig. 34 Dinâmica da Produtividade, f.69
- Fig. 35 Relação entre entradas e saídas num processo produtivo, f.70
- Fig. 36 Comportamento das RUP, f.76
- Fig. 37 Impacto da temperatura e Umidade na Produtividade, f.81
- Fig. 38 Fluxograma de fatores de produtividade relacionado a conflito, f.83
- Fig. 39 Modelo benchmarking, f.88
- Fig. 40 Modelo SD, f.91
- Fig. 41 Modelo DES para concretagem, f.91
- Fig. 42 Esboço do índice de Malmquist, f.94
- Fig. 43 Carta de controle com dados sob o controle estatístico, f.98
- Fig. 44 Carta de controle com dados fora do controle estatístico, f.98
- Fig. 45 Componentes do sistema de fôrmas de alumínio, f.100
- Fig. 46 Esquemática para a montagem dos painéis, f.101
- Fig. 47 Procedimento para simulação do método de Monte Carlo, f.105
- Fig. 48 Modelo do fluxograma para o método de Monte Carlo, f.106
- Fig. 49 Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) da fôrma de alumínio 600x2400mm, f.115
- Fig. 50 Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) da fôrma de alumínio 500x2400mm, f.115
- Fig. 51 Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) das formas de alumínio - canto interno, f.116

- Fig. 52 Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio 500x2400mm na média da Produtividade do Processo (PP), f.117
- Fig. 53 Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio 500x2400mm na média da Produtividade do Processo (PP), f.118
- Fig. 54 Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio Canto Interno na média da Produtividade do Processo (PP), f.118
- Fig. 55 Comportamento da FPA da Função Ociosidade (FO) da Fábrica, f.120
- Fig. 56 Impacto dos eventos geradores de paralização da produção na ociosidade da fábrica, f.122
- Fig. 57 Avaliação dos especialistas – Ociosidade, f.123
- Fig. 58 Curva de probabilidade acumulada adotando a função Uniforme como geratriz, f.124
- Fig. 59 Curva de probabilidade acumulada adotando a função triangular como geratriz, f.125
- Fig. 60 Sobreposição das ociosidades, f.125
- Fig. 61 FPA Global estimada Forma 600x2400mm, f.127
- Fig. 62 FPA Global estimada Forma 500x2400mm, f.127
- Fig. 63 FPA Global estimada Canto Interno 100x1800mm, f.128
- Fig. 64 Produtividade global real apropriada - Fôrma 600x2400mm, f.129
- Fig. 65 Produtividade global real apropriada - Fôrma 500x2400mm, f.129
- Fig. 66 Produtividade global real apropriada - Fôrma Canto Interno, f.130
- Fig. 67 Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Fôrma 600x2400mm, f.131
- Fig. 68 Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Fôrma 500x2400mm, f.131
- Fig. 69 Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Canto Interno, f.132
- Fig. 70 Função de densidade de probabilidade – Fôrma 600x2400mm, f.132
- Fig. 71 Função de densidade de probabilidade – Fôrma 500x2400mm, f.133
- Fig. 72 Função de densidade de probabilidade – Canto Interno, f.133
- Fig. 73 Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma 600x2400mm, f.134
- Fig. 74 Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma 500x2400mm, f.135
- Fig. 75 Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma Canto Interno, f.135

ÍNDICE DE TABELAS

- TABELA 1 - Planilha de Controle dos Fichamento, f.25
- TABELA 2 - Lista de componentes da Forma de alumínio parede 600x2400mm, f.33
- TABELA 3 - Lista de componentes da Forma de alumínio parede 500x2400mm, f.35
- TABELA 4 - Lista de componentes da Forma de alumínio canto interno 100x1800mm, f.37
- TABELA 5 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma Canto interno 100x1800mm, f.38
- TABELA 6 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma alumínio para parede de 600x2400mm, f.38
- TABELA 7 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma alumínio para parede de 500x2400mm, f.39
- TABELA 8 - Descrição das atividades para a fôrma de alumínio 600x2400mm, f.42
- TABELA 9 - Descrição das atividades para a forma de alumínio canto interno 100x1800mm, f.45
- TABELA 10 - Produtividade global apropriada - Painel 600x2400 mm, f.50
- TABELA 11 - Produtividade global apropriada - Painel 500x2400 mm, f.50
- TABELA 12 - Produtividade global apropriada - Canto interno 100x1800 mm, f.51
- TABELA 13 - Produtividade global estimada, f.63
- TABELA 14 - Definições de RUP, f.75
- TABELA 15 - Tipos de RUP, f.76
- TABELA 16- Indicadores gerais, f.77
- TABELA 17 - Indicadores relativos, f.77
- TABELA 18 - Fatores que influenciam a produtividade, f.78
- TABELA 19 - Fatores que impactam Trinidad e Tobago, f.85
- TABELA 20 - Definição dos métodos diretos e indiretos, f.86
- TABELA 21- Indicadores chaves de desempenho (KPI), f.88
- TABELA 22 - Etapas da Baseline, f.89
- TABELA 23 - Pontos de iterações dos modelos, f.92

TABELA 24 - Comparação entre os valores simulados, f.93

TABELA 25 - Vantagens e desvantagens fôrmas de alumínio, f.102

TABELA 26 - Tomada de Tempo para Cortar (Painel 600x2400mm), f.108

TABELA 27 - Tomada de tempo para fresar, furar e instalação de bucha e arrebite (Painel 600x2400mm), f.109

TABELA 28 - Tomada de tempo para montagem, solda e desempenho e aplicação de cal (Painel 600x2400mm), f.110

TABELA 29 - Tomada de Tempo para Cortar (Painel 500x2400mm), f.111

TABELA 30 - Tomada de tempo para fresar, furar e instalação de bucha e arrebite (Painel 500x2400mm), f.112

TABELA 31 - Tomada de tempo para montagem, solda e desempenho e aplicação de cal (Painel 500x2400mm), f.113

TABELA 32 - Tomada de tempo para cortar, furar, fresar e executar o grau, f.114

TABELA 33 - Principais Estatísticas da Produtividade do Processo (PP) das Fôrmas de Alumínio, f.116

TABELA 34 - Principais Estatísticas da Função Ociosidade (FO), f.119

TABELA 35 - Limites de confiança, f.120

TABELA 36 - Principais Estatísticas das curvas de ociosidade, f.126

TABELA 37 - Principais Estatísticas das curvas de produtividade global estimada, f.128

TABELA 38 - Principais Estatísticas das curvas da PGR, f.130

LISTA DE ABREVIACOES

CV	Coeficiente de Variação
FDP	Função de Densidade de Probabilidade
FO	Função Ociosidade
FPA	Função de Densidade Acumulada
Hh	Homem-hora
KPI	Indicadores-chaves de desempenho
MMC	Método de Monte Carlo
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PFP	Produtividade parcial dos fatores
PG	Produtividade global
PGE	Produtividade Global Estimada
PGR	Produtividade Global Real
PI	Produtividade Intrínseca
PT	Produtividade do trabalho
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PP	Produtividade do Processo
PR	Produtividade Real
RUP	Razão unitária de produção
PTF	Produtividade total dos fatores

1 INTRODUÇÃO

O atual capítulo busca discorrer sobre o processo da produtividade da indústria da construção civil no conjunto das habitações populares, os problemas relacionados a pesquisa, sua delimitação, os objetivos do trabalho, sua justificativa, a metodologia adotada e estrutura do trabalho.

1.1 APRESENTAÇÃO

A construção civil é considerada a principal atividade econômica no Brasil. Esse setor esteve aquecido por um bom tempo, motivado por diversas obras do governo, particularmente pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), além das obras para a Copa do Mundo de 2014 e das Olimpíadas de 2016 (DE MORAIS LUZ; DE CARVALHO; CAVALCANTI, 2015).

O governo federal, com objetivo de tornar a moradia acessível às famílias, em 2009 investiu no setor da construção civil e criou o programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida”, por intermédio do qual milhares de pessoas estão sendo beneficiadas. Entre 2009 e 2010 o programa o governo federal investiu cerca de R\$ 53 bilhões para construções de moradias, alcançando a entrega de 1 milhão de casas em dezembro de 2012 (SOARES *et al.*, 2013). Através do estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas, em outubro de 2014, foi constatado que entre 2009 e 2012 o programa reduziu em 8% o déficit habitacional. Porém, dados estatísticos divulgam que ainda 20 milhões de famílias Brasileiras necessitam de moradia própria, logo, seria necessária uma construção anual de 1,1 milhão de casas para atender a 51% deste total (GOMES; ANDRADE, 2016).

De forma geral, o crescimento no setor da construção civil com o lançamento do programa levou o setor a buscar inovações para executar as moradias em um intervalo de tempo curto, de maneira econômica e segura, sem comprometer a qualidade e o desempenho das edificações. Esse sistema é definido pela ABNT NBR 16055:2012, como “elemento estrutural autoportante moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede”. Portanto, esse sistema vem sendo bem aceito pelo mercado, pois as empresas procuram novas técnicas construtivas que favoreçam a diminuição dos custos e do tempo de duração da construção (MAGALHÃES, 2014).

Para construção das casas do programa habitacional 'Minha Casa, Minha Vida' é usual a utilização de fôrmas metálicas, pois o custo se torna relevante em construções acima de cem unidades. Atualmente, no mercado, as mesmas são produzidas em três tamanhos padrões (DA SILVA; KRÜGER; XAVIER, 2010), sendo possível confeccioná-las de acordo com a necessidade de cada cliente.

A execução das habitações com fôrmas metálicas pode ser considerada como um sistema construtivo racionalizado e industrializado, pois possibilita o retorno antecipado do investimento devido à dinâmica do cronograma da obra. Além disso, a mesma garante um elevado grau de produtividade e competitividade, esses sistemas melhoram a gestão dos recursos, reduzindo os desperdícios e o volume de resíduos ao longo do desenvolvimento da obra, melhorando a sua qualidade técnica e ambiental.

Sendo assim, o trabalho desenvolvido nesta dissertação tem como principal objetivo a aplicação do Método de Monte Carlo na produtividade da fabricação de fôrmas de alumínio utilizadas no método construtivo de parede de concreto. Portanto, o método tem como base:

A geração de uma quantidade de números pseudo-aleatórios previamente estabelecidos, com seus valores distribuídos segundo uma função com parâmetros identificados na amostra a ser analisada, e a partir de critérios de avaliação de sua aderência em relação à distribuição dos elementos da amostra. A função geratriz a ser utilizada como função densidade de probabilidade (FDP) deve apresentar forma semelhante a de distribuição dos elementos da amostra pelas classes a serem calculadas em condições pré-estabelecidas (MARTINS; FERREIRA, 2013, p.2).

Nesse contexto, a pesquisa terá como experimento a aplicação do Método de Monte Carlos, que a partir da modelagem de todo o processo produtivo obtenha-se a produtividade global (produtividade Intrínseca + ociosidade) do processo, isto é, da fabricação das fôrmas de alumínio utilizadas nesse método construtivo, dados esses relevantes, pois segundo De Oliveira (2006), as empresas (especialmente indústrias) têm uma preocupação constante em medir a produtividade, já que pode-se avaliar o tempo gasto de ociosidade, ou seja, aquele período relativo em que os colaboradores efetivamente não estão trabalhando.

Conhecer a produtividade da execução de um projeto é fundamental para verificar a viabilidade econômica da realização do empreendimento. Desenvolver indicadores de produção é importante para o gerenciamento de um negócio, pois o que não é medido não é gerenciado (KAPLAN; NORTON, 1997) e tratando-se de construções de habitações populares, esse conhecimento é indispensável para reduzir os custos da obra.

Sendo assim, os objetivos principais serão desenvolver indicadores de produtividade para auxiliar o gestor da indústria da construção civil nas tomadas de decisões, contribuir para

o aperfeiçoamento do método construtivo, fomentar uma discussão dos resultados obtidos e concluir com recomendações voltadas para o aumento do nível de eficiência do trabalho.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

A dissertação terá como objetivo geral, validar o Método de Monte Carlo para estimar e monitorar a produtividade na produção de fôrmas de alumínio utilizadas no processo construtivo da Parede de Concreto adotado pelo Programa Minha Casa Minha Vida. Serão utilizados no experimento dados relevantes sobre o processo de produção das fôrmas de alumínio da Empresa SH Indústria, que concordou em fornecer as informações de produção para viabilização do trabalho.

Os objetivos específicos a pesquisa foram os seguintes:

1. Identificar as etapas do processo produtivo adotados dentro da empresa;
2. Modelar o processo produtivo e a ociosidade para a produção das fôrmas de alumínio;
3. Comparar a curva de ociosidade estimada com a ociosidade real;
4. Analisar os fatores que impactam na produtividade através do gráfico de Tornado (análise de sensibilidade);
5. Comparar as curvas de produtividade estimada com a produtividade real.

1.3 O PROBLEMA DA PESQUISA

Os principais problemas da indústria da construção estão relacionados a sua taxa decrescente de aumentos de produtividade e sua falta de padrões de produtividade, respectivamente. Logo, esses dois problemas estão relacionados. Sendo assim, a alta porcentagem de tempo não produtivo rotineiramente afeta custos de construção e estimativa de tempo de várias maneiras (ADRIAN, 2004).

Os processos construtivos devem ser planejados e controlados, pois essas medidas podem eliminar o desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e as decisões, simplificar as etapas construtivas e melhorar a qualidade do sistema (PEREIRA, 2005).

Neste contexto, os indicadores de qualidade e produtividade assumem um papel imprescindível na avaliação e melhoria do desempenho da empresa. Um indicador de qualidade e produtividade é uma forma de representação quantificável da qualidade de um produto ou serviço. É um instrumento de mensuração da qualidade e como tal, imprescindível ao seu gerenciamento. (LANTELME, 1994, p.1)

Um bom planejamento previne problemas no processo de produtividade pois (MAGALHÃES, 2014) o planejamento “melhora a produtividade, reduz atrasos, apresenta a melhor sequência de produção, casa a quantidade de mão de obra com a quantidade de trabalho a ser produzido, coordena múltiplas atividades interdependentes”. A integração da informação na construção como estratégia pode auxiliar, também, como um mecanismo para diminuição de erros, aumento do trabalho em equipe, ganho de eficiência e rapidez, com melhoria da qualidade e produtividade (JACOSKI; LAMBERTS, 2002).

Sendo assim, a presente pesquisa busca desenvolver indicadores de produtividade através do método Monte Carlo, visando, desta forma, contribuir para o aperfeiçoamento do processo produtivo das fôrmas de alumínio adotadas na construção de Paredes de Concreto. Visa-se, ainda, estudar de uma forma direta os fatores que impactam diretamente na sua produtividade.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa circunscreve em um setor industrial e os dados a serem obtidos consistem em desenvolver indicadores de produtividade para a produção de fôrmas de alumínio dentro do setor produtivo da Empresa SH Indústria, reconhecida como a empresa de locação de equipamentos e serviços de engenharia para estruturas. Portanto, o estudo está limitado na aplicação do método de Monte Carlo na simulação do comportamento dos colaboradores no processo produtivo das fôrmas de alumínio.

1.5 JUSTIFICATIVA

Adrian (2004) justifica, em sua bibliografia, que algumas abordagens viáveis para a aumentar a produtividade da empresa são: Experimentar com procedimentos para motivar a força de trabalho em um local de trabalho; Disponibilizar novos métodos e materiais de construção com o objetivo de melhorar a produtividade; Implementar técnicas de gestão, incluindo técnicas de análise de métodos, produtividade e técnicas de programação; Investir e implementar procedimentos contabilísticos e de controle destinados a medir a produtividade e a detectar problemas para que a empresa possa melhorar rapidamente as taxas de produtividade; Desenvolver um departamento interno ou outra estrutura com o único objetivo de melhorar a produtividade.

Isto posto, a pesquisa é relevante pois busca validar o método de Monte Carlo para monitorar a produtividade e a ociosidade no processo de fabricação de formas de alumínio na indústria da construção civil. Esse método possibilitara o gestor controlar o processo de produtividade dentro das empresas com maior eficiência. Destarte, as justificativas para o desenvolvimento da dissertação são:

- Identificar as etapas do processo produtivo adotados dentro da empresa para modelar o processo produtivo para desenvolver parâmetros de monitoração da produtividade, visando otimizar o custo e o tempo de produção das fôrmas de alumínio utilizadas na construção das casas do PMCMV;
- Proporcionar economia, agilidade e o lucro esperado no setor produtivo da empresa, por meio do planejamento;
- Apresentar o principais os fatores que impactam na produtividade das fôrmas de alumínio utilizadas na construção das casas do PMCMV, através da análise de sensibilidade garantida pelo gráfico tipo Tornado.

Realizou-se também uma pesquisa no banco de dados da Web of Science na Internet, onde pode-se observar a classificação do Brasil no ranque dos países que mais publicam documentos científicos dentro do tema proposto nesta dissertação. Esses documentos científicos contemplam Articles (Artigos), Letters (Comunicações), Reviews (Revisões), e Proceedings Paper (Artigo em Congresso) publicados entre os anos de 2016 e 2021.

Inicialmente, utilizou-se a palavra-chave "productivity" e escolheu-se a opção "Tópicos" para que fossem localizados todos os documentos que tivessem a palavra "productivity" no título ou no resumo ou no Keywords dos artigos. O resultado dessa pesquisa inicial colocou o Brasil na oitava posição do ranque dos países que mais publicam sobre o respectivo tema. Os brasileiros são responsáveis por 4,84% das publicações.

Em seguida, somou-se a palavra "construction" no campo de buscas e repetiu-se as configurações anteriores. Dessa forma, o Brasil manteve-se em oitavo colocado, porém a porcentagem dos documentos publicados em relação ao mundo diminuiu. Este passou a ser 3,36%.

Posteriormente, incluiu-se "monitori*" a "construction" e "productivity", mantendo o filtro anterior. O asterisco em "monitori*" é para que seja localizado qualquer variação de sufixo na palavra. O resultado torna-se mais desfavorável, pois o Brasil alcança a decima terceira posição no ranque e a porcentagem de publicações passou a ser 2,05%.

Dessa forma, conclui-se que existe uma lacuna no campo da pesquisa brasileira a respeito do tema proposto nesta dissertação. Destarte, espera-se que o estudo apresentado neste trabalho possa contribuir para a pesquisa brasileira.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação foi estruturada em seis capítulos, sendo eles:

Capítulo 1 – Introdução: Apresenta a contextualização do setor, a caracterização do problema, a delimitação da pesquisa, a justificativa e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Metodologia: Apresenta os objetivos do trabalho, o delineamento adotado para a elaboração do referencial teórico, procedimento experimental e a metodologia da análise dos resultados.

Capítulo 3 – Referencial Teórico: Contém os conceitos de produtividade, indicadores de produtividade, os fatores que impactam na produtividade, métodos de estimativa e monitoração da produtividade, cartas de controle, fôrmas de alumínio, Método de Monte Carlo e Análise de sensibilidade, sendo fundamentado em fontes bibliográficas.

Capítulo 4 – Resultado: Contém os resultados do processamento dos dados obtidos em campo e gerados através no software @risk da Palisade Corporation.

Capítulo 5 – Conclusões finais: Traz as conclusões do estudo.

2 METODOLOGIA

Magalhães (2014) menciona que a pesquisa é um procedimento formal, que busca conhecer a realidade ou descobrir verdades parciais através do método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico.

Dessa forma, a pesquisa constitui-se de uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de produtividade, métodos de estimativa e monitoração da produtividade, fatores de impacto na produtividade da construção civil e sobre o método estatístico Monte Carlo. O trabalho será baseado na literatura especializada, mediante a consulta de livros, publicações e de artigos científicos selecionados através de busca nos Periódicos da CAPES, Scholar Google e na base de dados da Web of Science. Será apresentada, ainda, a parte experimental na qual serão selecionados três tipos de fôrmas para concreto que são produzidas por uma empresa da indústria da construção civil. No experimento será desenvolvido a linha do fluxo de produção, definido as atividades relacionadas, medido o tempo para a execução de cada tarefa e modelado o processo construtivo através do método estatístico de Monte Carlo.

A pesquisa também é descritiva, pois é constituída de registro fotográfico, obtido através dos acompanhamentos no setor de produtividade das fôrmas de alumínio na empresa SH Indústria.

2.1 ELABORAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

A pesquisa constitui-se de uma revisão bibliográfica sobre o envolvimento da produtividade na indústria da construção civil. O trabalho será baseado na literatura especializada, mediante a consulta de livros, publicações e de artigos científicos selecionados através de busca nos Periódicos da CAPES, Scholar Google e na base de dados da Web of Science.

As referências bibliográficas estão distribuídas entres os capítulos da introdução e referencial teórico. Este está subdividido em dois grupos: Referências principais e referências secundárias. Ainda para apoiar a dissertação, foram utilizadas mais duas referências: manual do “software” @risk e “google map”.

Os temas das referências principais abordadas foram: Conceitos de produtividade; Indicadores de produtividade; Fatores de impacto na produtividade; Métodos de estimativa e monitoramento da produtividade. Os temas das referências secundárias foram: Cartas de controle; Fôrmas de Alumínio, Método de Monte Carlo; Teste de sensibilidade.

Foram selecionadas 65 bibliografias para compor o trabalho e após a leitura dos textos foram realizadas fichas destas publicações, em seguida, desenvolveu-se uma planilha em “MS Excel” para organização dos documentos selecionados. De acordo com Ney (2016), essa técnica permite uma melhor gestão das peças literárias e, também, avaliar estatisticamente a distribuição dos arquivos selecionados. Na tabela 1 é apresentado o modelo de planilha utilizado.

Tabela 1 - Planilha de Controle dos Fichamento

Controle Fichamento					
Temática	Ano de publicação	Tipo de publicação	Título	Autores	Local de publicação
Cartas de controle	2014	Trabalho de conclusão de curso	Análise de Controle Estatístico em um Processo Petroquímico	Bittencourt, Danilo Soares; Miorando, Rogério; Rossini, Karina	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Concelto de produtividade; Indicadores de produtividade; Método de Monte Carlo	2013	Artigo em congresso	APLICABILIDADE DE SIMULAÇÃO UTILIZANDO OS MÉTODOS DE MONTE CARLO E HIPERCUBO LATINO NA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG	José Luiz Ferreira Martins; Miguel Luiz Ribeiro Ferreira	7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação
Introdução	2015	Artigo em revista	Aplicação da análise fatorial na identificação dos fatores de custos da qualidade das empresas do setor de construção civil de Campina Grande, PB	De Moraes Luz, Janayna Rodrigues; De Carvalho, José Ribamar Marques; Cavalcanti, Paulo Roberto Nóbrega Cavalcante	Revista Capital Científico-Eletrônica
Método de Monte Carlo	2011	Dissertação	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO EM SIMULAÇÕES HIGROTÉRMICAS DE EDIFÍCIOS	PEDRO DUARTE PEREIRA CARVALHIDO RIBEIRO DA FONTE	FEUP
Introdução	2010	Artigo em congresso	Aplicação Do Método Owas No Transporte E Manuseio De Para Construção De Casas In Loco : Um Estudo De Caso	Da Silva, Fernando Partica; Krüger, José Adelino; Xavier, Antonio Augusto de Paula	XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Indicadores de produtividade; Método de Monte Carlo; Teste de sensibilidade	2016	Dissertação	Avaliação da metodologia eletrônica para monitoramento do desempenho de soldadores na fabricação de tubulações	Diego Calvetti Ney	Universidade Federal Fluminense

Fonte: Adaptado pelo Autor (NEY, 2016, p.17)

A distribuição quantitativa das citações por cada tema proposto pode ser analisada na Figura 1. Nesta imagem é possível observar que um documento de citação pode atender mais de um tema na pesquisa proposta.

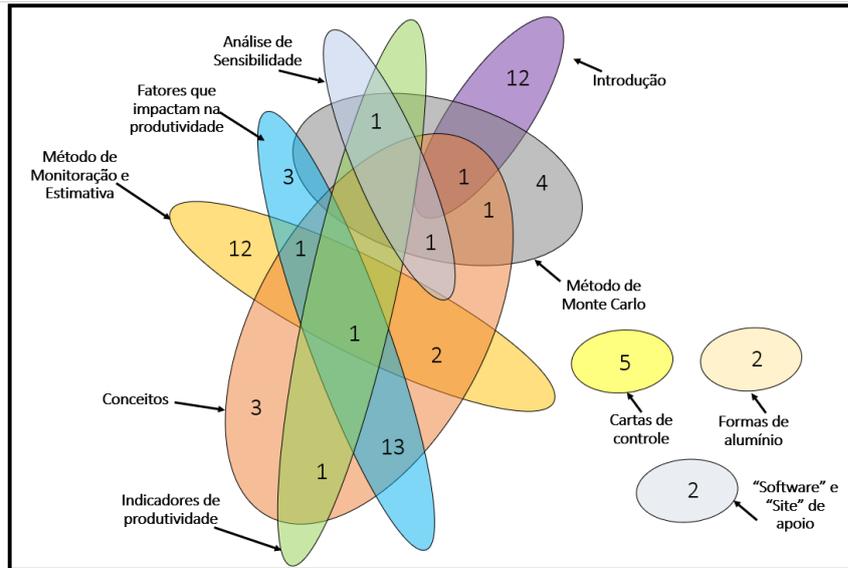


Figura 1 - Distribuição quantitativa das citações por cada tema proposto

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A quantidade total de textos utilizados para compor cada parte da dissertação está apresentada na figura 2.

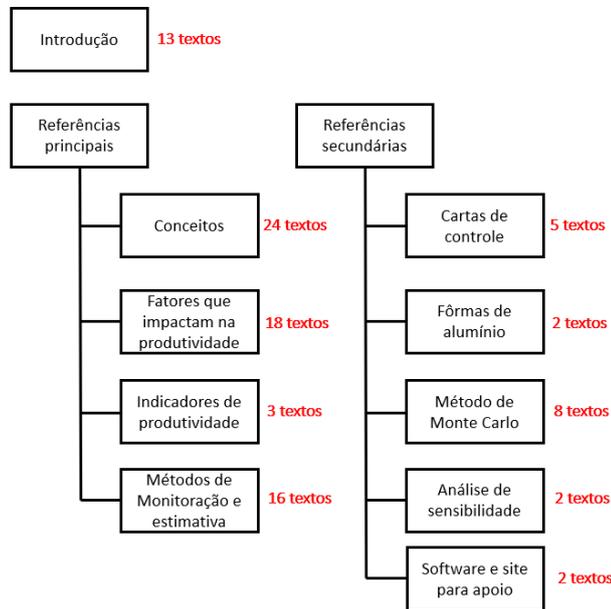


Figura 2- Quantidade de Textos por tema proposto

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A quantidade total de textos utilizados para compor a introdução, as referências principais e secundárias estão apresentadas pela figura 3. Nota-se que a maioria dos

documentos selecionados são de artigos e periódicos com um total de 50 textos, com uma taxa aproximada de 77%.

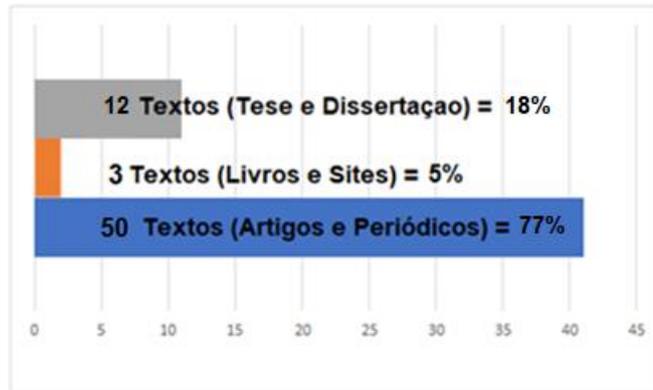


Figura 3 - Quantidade de textos por tipo de documento

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.1.1 Referências Principais

O item das referências principais aborda os seguintes assuntos: Conceitos de produtividade, Indicadores de produtividade; Fatores de Impacto na Produtividade (foco na Indústria da Construção), Métodos de Estimativa e Monitoração da Produtividade. Conforme figura 4, observa-se que 63% dos documentos citados correspondem a textos com até 5 anos de publicação (2015-2020), sendo os demais publicados com mais de 5 anos de publicação.

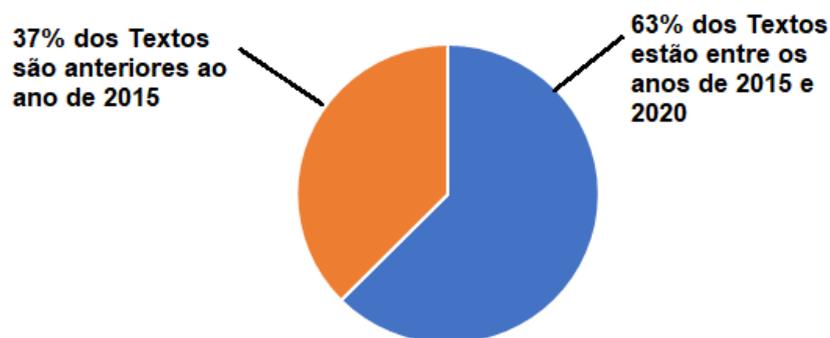


Figura 4 - Porcentagem do ano de publicação das referências principais

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

O tipo de documento predominante nas referências principais são artigos de publicação internacional, com destaque para o Journal of Construction Engineering and Management que foi a fonte mais consultada. O periódico é parte integrante da Qualis Periódicos, possui classificação A1 e a área de avaliação é Engenharias I, no evento de classificação quadriênio 2013-2016. É interessante destacar que este foi também um dos resultados mais apurados na pesquisa de Ney (2016). Abaixo, na figura 5, é possível analisar graficamente os locais de publicação mais presente na pesquisa.

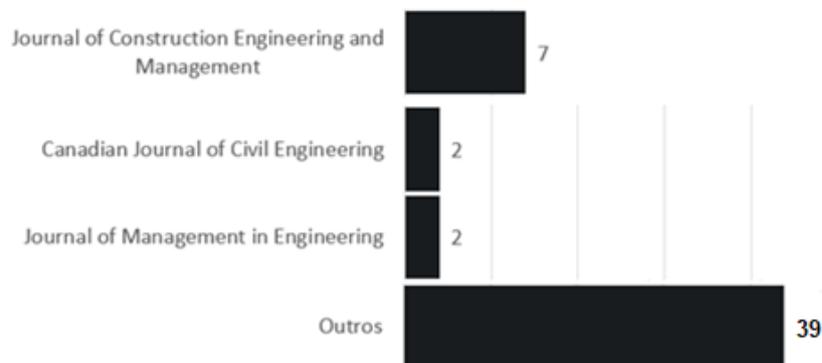


Figura 5 - Locais de publicação das referências principais

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.1.2 Referências Secundárias

O item das referências secundárias aborda os seguintes assuntos: Fabricação das fôrmas de alumínio; Cartas de controle; Método de Monte Carlo; Teste de sensibilidade. Conforme figura 6, observa-se que 41% dos documentos citados correspondem a textos com até 5 anos de publicação (2015-2020), sendo os demais publicados com mais de 5 anos de publicação.

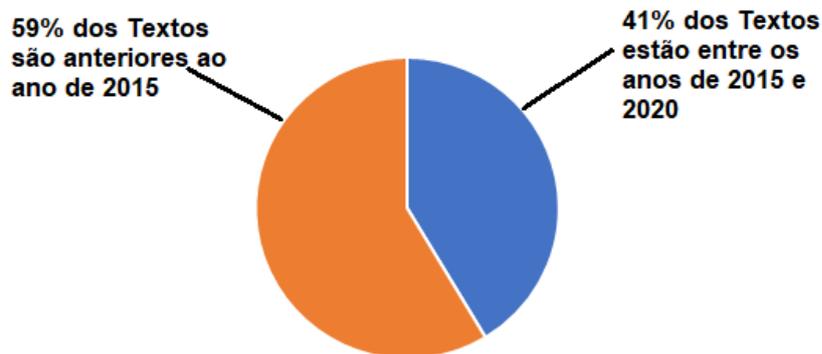


Figura 6 - Porcentagem do ano de publicação das referências secundárias

2.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este item visa identificar as etapas do processo produtivo para a fabricação das fôrmas de alumínio adotados dentro da empresa, modelar o processo produtivo, desenvolver indicadores de produtividade e validar o método estatístico utilizado para o experimento. A figura 7 descreve sucintamente os procedimentos realizados no experimento.

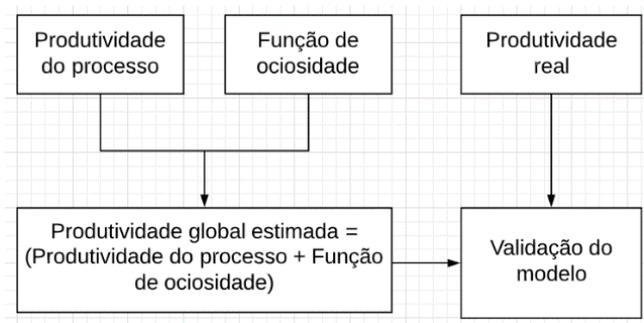


Figura 7 - Etapas do experimento para validação do modelo de estimativa da produtividade global

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

O procedimento experimental tem o objetivo de avaliar se o modelo proposto, ao qual denominou-se Produtividade Global Estimada (PGE), que é uma função composta construída a partir da função Produtividade do Processo (PP) e da Função Ociosidade (FO), é adequado para estimar a produtividade global. Considerando este objetivo, no processamento dos dados das funções que compõem este modelo, utilizou-se o MMC, obtendo-se as curvas FDP (Função Densidade de Probabilidade) e FPA (Função de Probabilidade Acumulada). Para avaliação da efetividade do modelo da PGE proposto, comparou-se os resultados do mesmo, obtidos via simulação pelo MMC, com os dados de produtividade, referentes a 30 dias de produção, apropriados pela supervisão de campo, a que se denominou Produtividade Real (PR). Assim, para validação da PGE, buscou-se comparar as curvas FDP e FPA obtidas via simulação de Monte Carlo, das funções PGE e PR.

Realizou-se a simulação de Monte Carlo com o auxílio da ferramenta Microsoft Office Excel e do “software” @Risk 7.6.1 da empresa Palisade Corporation. As funções submetidas à simulação PP, FO, PGE e PGR, são descritas da seguinte forma:

- PP (Produtividade do Processo) – Produtividade do processo produtivo (produtividade intrínseca), incorporando todas as atividades, sem considerar os eventos onde a produção está paralisada por algum motivo;
- FO (Função de Ociosidade) – Percentual de tempo, em uma jornada de trabalho, onde a produção se encontra paralisada por algum motivo;
- PGE (Produtividade Global Estimada) - Função produtividade global estimada, determinada a partir do conhecimento da produtividade do processo e da ociosidade;
- PGR (Produtividade Global Real) - Função construída a partir dos dados de produtividade diários apropriados pela empresa.

A coleta dos dados ocorreu do interior do galpão n° 02, pertencente a área fabril da empresa SH Formas, Andaimos e Escoramentos, localizado na Av. Brasil 45.208, Rio de Janeiro - RJ - Campo Grande, conforme figura 8. A firma obtém o título de melhor empresa na categoria “Escoramento e Fôrmas para Concreto” desde 1999 no Prêmio PINE – Melhores da construção. Ela atua em 3 países (Brasil, Colômbia e Paraguai).



Figura 8 - Área Fabril da empresa SH Formas, Andaimos e Escoramentos

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“GOOGLE MAPS”, 2021)

2.3.1 Caracterização da amostra

A amostra é composta por informações e dados relativos à produtividade da fabricação de fôrmas para estruturas de concreto armado. Realizou-se a coleta dos dados por meio de observações em campo no interior da área fabril de uma empresa que fabrica fôrmas de alumínio para a indústria da construção civil e que atua em todo o território brasileiro. Selecionou-se três produtos da linha de produção: fôrma de alumínio para parede de 600x2400mm, fôrma de alumínio para parede de 500x2400mm e a fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm.

2.3.1.1 Fôrma de alumínio parede 600x2400mm

A primeira fôrma do experimento tem as dimensões de largura e altura, respectivamente, igual a 600mm e 2400mm, conforme figura 9:

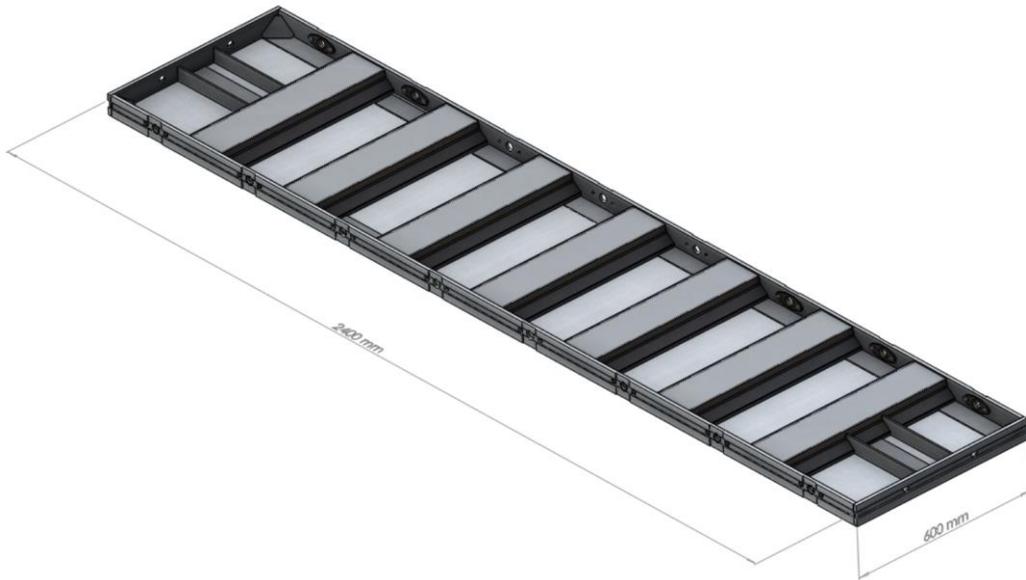


Figura 9 - Fôrma de alumínio parede 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A seguir, na tabela 2, apresenta-se a lista dos equipamentos que compõem o painel parede 600x2400mm.

Tabela 2 - Lista de componentes da Forma de alumínio parede 600x2400mm

Itens	Nome	Quantidade	Peso Unit. (kg)
1	Perfil Laje Cabeça	2	0,67
2	Bucha	16	0,05
3	Rebite 14,88mm	32	0,00
4	Perfil Laje Lateral	2	2,74
5	Perfil Costela	7	0,73
6	Chapa de alumínio 3,0mm	1	11,27
7	Barra Chata 38,1x235mm-Alumínio	4	0,11
8	Triângulo	4	0,016
9	Chapa de alumínio 2,5mm	16	0,06

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

O peso total para 1 (uma) fôrma de alumínio parede de 600x2400mm, equipada com os componentes da tabela 2, é de 25,50kg. Para a produção dessa fôrma, foi esquematizado o fluxo da produção para a fabricação desse equipamento, conforme figura 10.

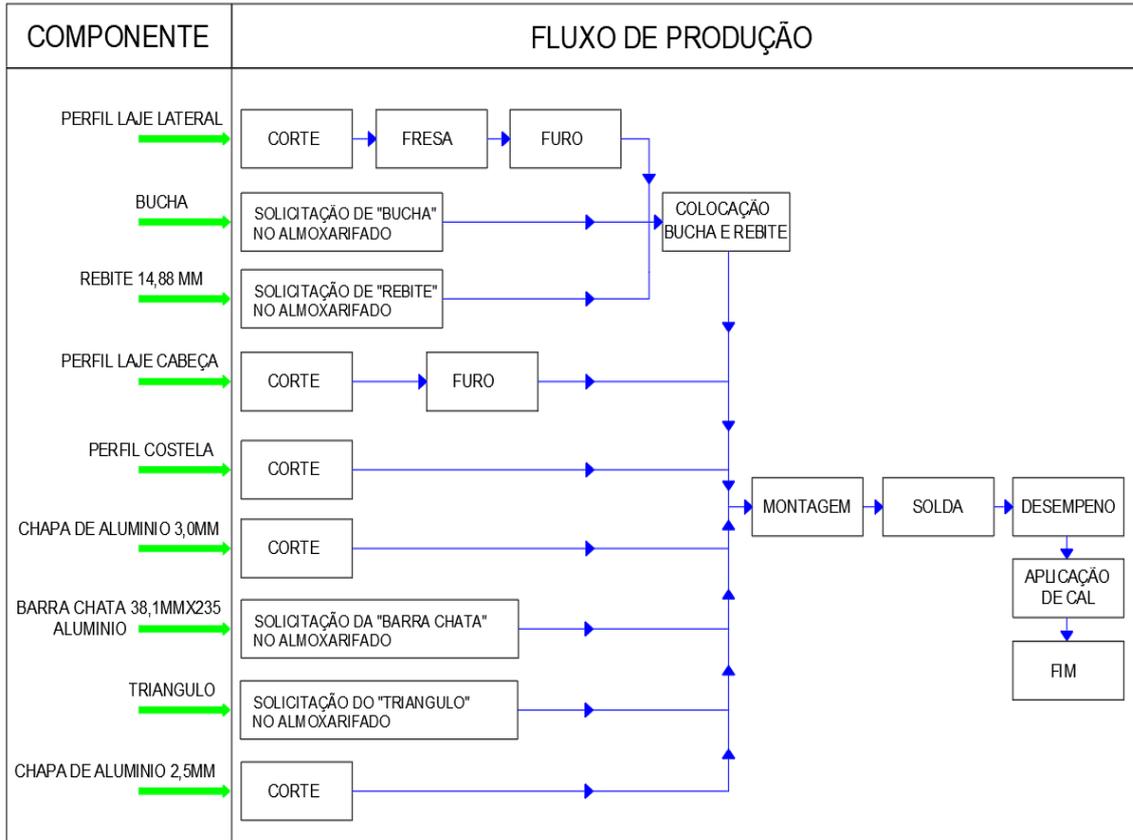


Figura 10 - Fluxo de produção da forma de alumínio parede 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.1.2 Fôrma de alumínio parede 500x2400mm

Selecionou o segundo produto para o experimento: Fôrma de alumínio para parede de 500x2400mm, conforme figura 11.



Figura 11 - Forma de alumínio canto interno 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Na tabela 3, observa-se a lista dos equipamentos que compõem o painel parede 500x2400mm.

Tabela 3 - Lista de componentes da Forma de alumínio parede 500x2400mm

Itens	Nome	Quantidade	Peso Unit. (kg)
1	Perfil Laje Cabeça	2	0,55
2	Bucha	16	0,05
3	Rebite 14,88mm	32	0,00
4	Perfil Laje Lateral	2	2,74
5	Perfil Costela	7	0,73
6	Chapa de alumínio 3,0mm	1	11,27
7	Barra Chata 38,1x235mm-Alumínio	4	0,11
8	Triângulo	4	0,016
9	Chapa de alumínio 2,5mm	16	0,06

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

O peso total para 1 (uma) forma de alumínio parede 500x2400mm, equipada com os componentes da tabela 3, é de 23,06kg. A linha de produção é semelhante ao do painel 600x2400mm, como pode-se observar na figura 12.

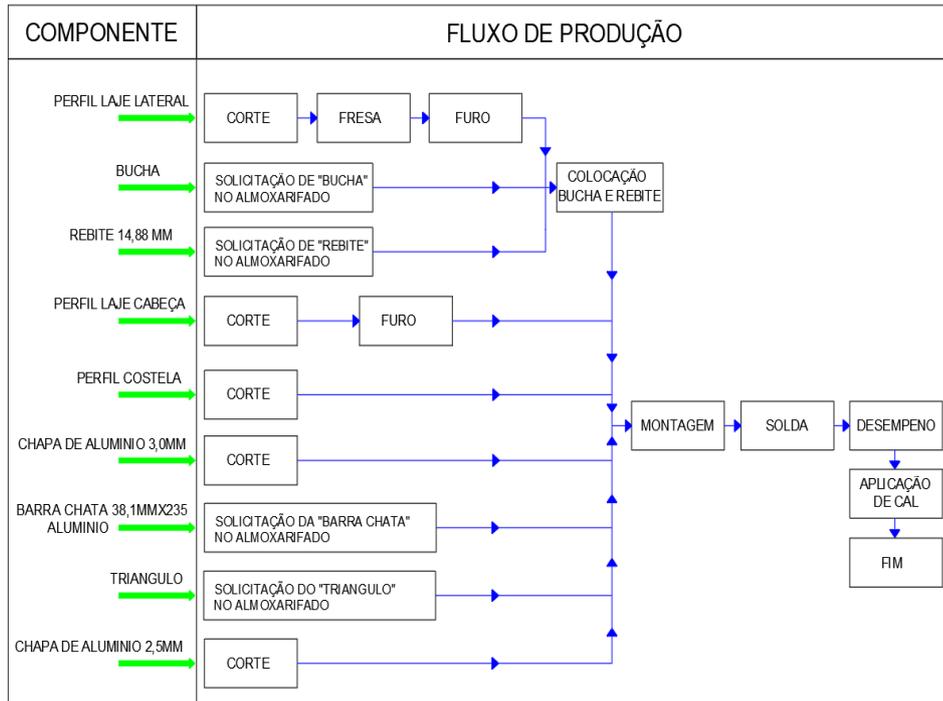


Figura 12 - Fluxo de produção da forma de alumínio parede 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.1.3 Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm

Selecionou-se o terceiro produto para a pesquisa: o canto interno 100x1800mm, conforme figura 13.



Figura 13 - Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A composição desse produto pode ser analisada pela tabela 4:

Tabela 4 - Lista de componentes da Forma de alumínio canto interno 100x1800mm

Itens	Nome	Quantidade	Peso Unit. (kg)
1	Perfil Canto Interno	1	7,38

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

O peso total para 1 (uma) forma de alumínio canto interno 100x1800mm é de 7,38kg. O processo de produção é mais simples do que das fôrmas mencionadas anteriormente, como pode-se observar na figura 14:

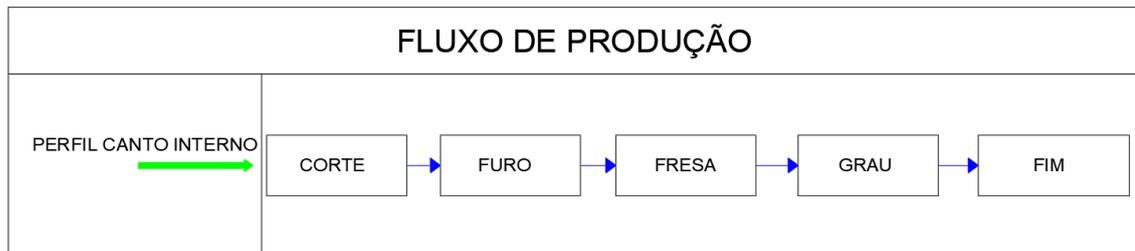


Figura 14 - Fluxo de produção da forma de alumínio canto interno 100x1800mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.2 Modelo de produtividade

Neste item serão definidas as equações utilizadas para a análise dos dados coletados no experimento.

A produtividade do processo (PP) será obtida pela divisão do peso de 1 fôrma em kg, pelo somatório da função de distribuição da quantidade de Homens-hora (Hh) consumidos para cada atividade, que compõe o ciclo de produção, sendo que os tempos improdutivos, onde a produção foi paralisada em decorrência de algum evento, não são considerados, conforme fórmula abaixo:

$$Produtividade\ Intrínseca = \frac{Massa\ da\ peça\ (kg)}{\sum (Função\ de\ distribuição\ de\ cada\ atividade)(Hh)}$$

Nas tabela 5, tabela 6 e tabela 7 são listadas as funções selecionadas para cada atividade, via teste de aderência com o auxílio do “software” @Risk 7.6.1, adotando como critério o teste Akaike (AIC), recomendado pelo fornecedor do “software”.

Tabela 5 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma Canto interno 100x1800mm

Equipamento	Atividade do processo	Função de distribuição
Canto interno 100x1800mm	Cortar perfil	ExtValue
	Furar perfil	Uniform
	Fresar perfil	Pareto
	Corte de 45 graus	Triang

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 6 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma alumínio para parede de 600x2400mm

Equipamento	Atividade do processo	Função de distribuição
Fôrma de alumínio para parede de 600x2400mm	Cortar Perfil Laje Lateral	Uniform
	Cortar Perfil Laje Cabeça	Pareto
	Cortar Perfil Laje Costela	Expon
	Cortar Chapa de alumínio 3,0mm	Normal
	Cortar Chapa de alumínio 2,5mm	Triang
	Fresar Perfil Laje Lateral	Triang
	Furar Perfil Laje Lateral	Laplace
	Furar Perfil Laje Cabeça	ExtValue
	Instalação de Bucha e rebite no Perfil Laje Lateral	Loglogistic
	Montagem	Uniform
	Solda	Triang
	Desempeno	ExtValue
Aplicação de Cal	Pareto	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 7 - Funções de distribuição adotadas para cada atividade do processo produtivo da forma alumínio para parede de 500x2400mm

Equipamento	Atividade do processo	Função de distribuição
Fôrma de alumínio para parede de 500x2400mm	Cortar Perfil Laje Lateral	Triang
	Cortar Perfil Laje Cabeça	Pareto
	Cortar Perfil Laje Costela	Pareto
	Cortar Chapa de alumínio 3,0mm	ExtValueMin
	Cortar Chapa de alumínio 2,5mm	Triang
	Fresar Perfil Laje Lateral	Laplace
	Furar Perfil Laje Lateral	Laplace
	Furar Perfil Laje Cabeça	Triang
	Instalação de Bucha e rebite no Perfil Laje Lateral	ExtValue
	Montagem	Uniform
	Solda	Triang
	Desempeno	ExtValue
	Aplicação de Cal	ExtValue

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Para o modelo da ociosidade utilizou-se o percentual de tempo em que o operador se encontra parado. Para processar os dados coletados relativos à ociosidade com o método de Monte Carlo, adotou-se a equação “Função Ociosidade (FO)” diária para gerar o modelo de ociosidade com todos os eventos que geram ociosidade. A FO diária está representada pelo somatório das funções relativas à categoria Ocioso, conforme equação abaixo.

$$FO = \frac{\sum \text{ação 1}}{\sum \text{ações}} + \frac{\sum \text{ação 2}}{\sum \text{ações}} + \frac{\sum \text{ação 3}}{\sum \text{ações}} + \dots + \frac{\sum \text{ação 15}}{\sum \text{ações}} + \frac{\sum \text{ação 16}}{\sum \text{ações}}$$

Onde:

$\sum \text{ação 1} = \text{Atraso}$

$\sum \text{ação 2} = \text{Falta}$

$\sum \text{ação 3} = \text{Buscar equipamentos}$

Σ ação 4 = Buscar ou trocar EPI

Σ ação 5 = limpeza e arrumação da área de trabalho

Σ ação 6 = Aguardando matéria prima

Σ ação 7 = Interação colegas

Σ ação 8 = Sala supervisão

Σ ação 9 = Máquina com defeito

Σ ação 10 = Aguardando OP (ordem de produção)

Σ ação 11 = Necessidades fisiológicas

Σ ação 12 = Deslocamentos

Σ ação 13 = Reuniões de Segurança e Gestão

Σ ação 14 = Falta de energia elétrica

Σ ação 15 = Interrupção das atividades devido à movimentação de cargas próxima a bancada de trabalho

Σ ação 16 = Revisão de projeto - projeto errado

Σ ações = 160, total de observações diárias (exceto na sexta-feira: 140 observações)

Para o modelo da produtividade global estimada (produtividade incorporando os tempos produtivos e improdutivos) será obtida através da fórmula abaixo:

$$\textit{Produtividade Global Dados de Campo} = \frac{\textit{Produtividade Intrínseca}}{1 + \textit{ociosidade}}$$

2.3.3 Coleta de dados

O item correspondente a coleta de dados está dividida em três partes: Produtividade do processo, ociosidade e produtividade global, conforme figura 15.

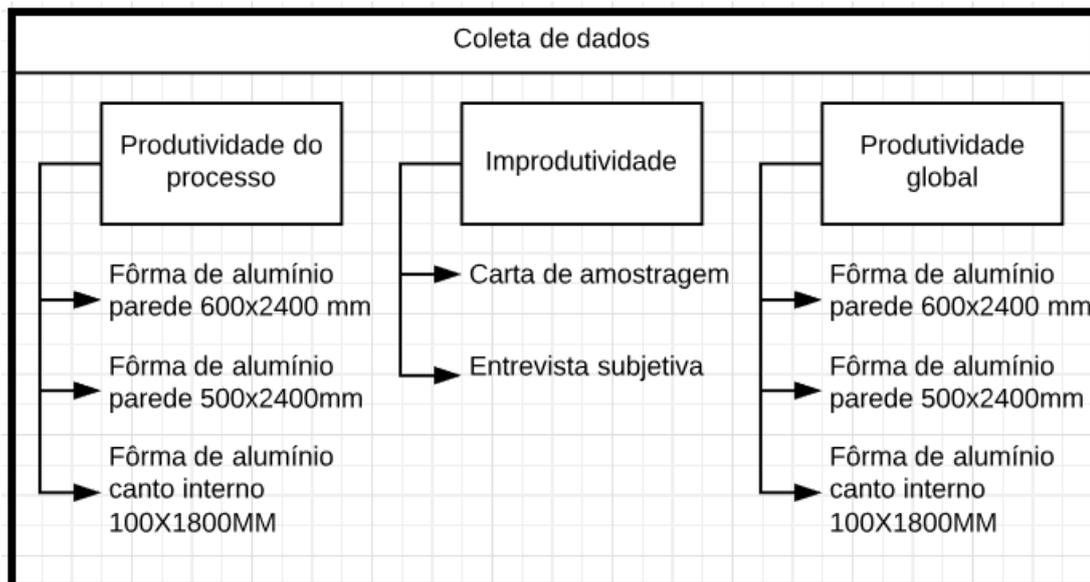


Figura 15 - Divisão do capítulo de coleta de dados

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.3.1 Dados de Produtividade do Processo (Produtividade Intrínseca)

A coleta dos dados para o tempo produtivo iniciou-se no dia 21 de novembro de 2017 e estendeu-se até de 05 de janeiro de 2018. Durante esse período a rotina da empresa e dos colaboradores transcorreu de forma normal, ou seja, sem imprevistos.

A mão de obra direta envolvida no processo de produção é formada pela seguinte equipe: 15 operadores e 10 soldadores. A jornada de trabalho é de segunda-feira a sexta-feira. O horário do expediente de trabalho é das 7h00 às 17h00, porém as sexta-feira encerra-se as 16h00.

2.3.3.1.1 Fôrma de alumínio parede 600x2400mm

Para cada etapa do fluxo de atividades apresentadas na figura 10, buscou-se coletar o tempo de execução. Na tabela 8 será exposto a descrição de cada atividade e o registro fotográfico relacionado às tarefas.

Tabela 8 - Descrição das atividades para a fôrma de alumínio 600x2400mm

Atividade	Descrição	Registro fotográfico
Cortar Perfil Lateral, Cortar Perfil Cabeça e Cortar Perfil Costela	O operador posiciona sobre a mesa de corte 5 perfis, enfileirados (um sobre o outro), e com um movimento de vai e vem com a serra, ele executa o corte na peça. Nome da máquina: Traçador.	
Fresar Perfil Lateral	O operador posiciona 6 perfis, por vez, na máquina para realizar a tarefa. Essa atividade é automatizada pela fresadora CNC da Tecnodrill.	
Cortar Chapa de alumínio 3,5mm	O operador posiciona a folha de alumínio (1200x2400mm) na Guilhotina e a divide em duas partes (600x2400mm).	
Cortar Chapa de alumínio 2,5mm	O operador posiciona a folha de alumínio (1200x2400mm) na Guilhotina e a divide em tiras com 50mm de largura. Depois elas são cortadas com 140mm de comprimento.	

<p>Furar Perfil Lateral e furar Perfil Cabeça</p>	<p>O operador posiciona os perfis na máquina Unistamp e realiza os furos nos perfis. O perfil cabeça recebe 2 furos e o perfil lateral 8 furos. O manuseio dos perfis é um por vez.</p>	
<p>Instalação de Bucha e rebite no perfil lateral.</p>	<p>O operador deve instalar 2 arrebites e 1 bucha para cada furo do perfil lateral.</p>	
<p>Montagem</p>	<p>O soldador monta e ponteia os painéis para facilitar o processo de soldagem.</p>	
<p>Solda</p>	<p>O processo de solda utilizado é o MIG/MAG.</p>	

Desempeno	O operador recebe o painel da solda e em seguida posiciona na desempenadeira para retirar as ondulações do painel.	
Aplicação de Cal	O operador, com o auxílio de um rolo, aplica cal na chapa do painel.	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.3.1.2 Fôrma de alumínio parede 500x2400mm

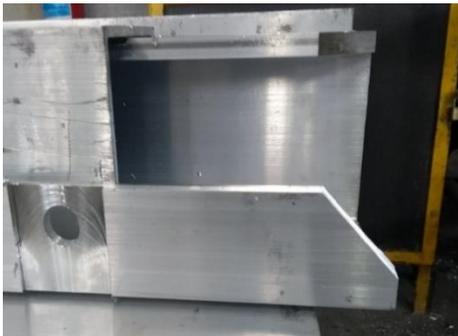
O processo de produção da fôrma de alumínio parede 500x2400mm é o mesmo da fôrma de alumínio 600x2400mm (visto no item anterior). Portanto, a descrição das atividades e o registro fotográfico são as mesmas apresentadas na tabela 8.

2.3.3.1.3 Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm

Para cada etapa do fluxo de atividades apresentadas na figura 14, também buscou-se coletar o tempo necessário para a execução de cada atividade. Na tabela 9 será exposto a descrição de cada atividade e o registro fotográfico relacionado às tarefas.

Tabela 9 - Descrição das atividades para a forma de alumínio canto interno 100x1800mm

Atividade	Descrição	Registro fotográfico
Cortar	O operador posiciona sobre a mesa de corte 1 perfil canto interno por vez e com um movimento de vai e vem com a serra, ele executa o corte na peça. Nome da máquina: Traçador.	
Furar	O operador posiciona 2 perfis por vez na máquina para realizar a tarefa. O aparelho é programado para realizar 6 furos em cada lado do perfil, após a execução dos furos em um dos lados, o operador interrompe o processo e inverte as peças para furar o outro lado do perfil. Essa atividade é automatizada pela fresadora CNC da Tecnodrill.	
Fresar	O procedimento é similar ao de furar, porém, nesse caso o operador substitui a broca da máquina para realizar as fresas.	

Grau	O operador posiciona o perfil na máquina de serra circular e executa 2 cortes de 45 graus em cada lado do perfil.	
------	---	--

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.3.2 Dados de ociosidade (Função de ociosidade)

Para estudar a ociosidade foram utilizadas duas técnicas: Carta de amostragem e entrevista subjetiva via supervisores.

Para a carta de amostragem foram coletadas informações durante 45 dias, no período de 03-07-2018 a 04-09-2018. Nesse intervalo de tempo foram excluídas as datas com expediente atípico ou feriado. O modelo de carta adotado está apresentado na figura 16.

Operador nº1				Operador nº2			
Hora	Ocupado	Ocioso	Justificativa	Hora	Ocupado	Ocioso	Justificativa
07:00	x			07:00	x		
07:30	x			07:30	x		
08:00	x			08:00	x		
08:30	x			08:30	x		
09:00	x			09:00		x	17
09:30		x	7	09:30	x		
10:00	x			10:00	x		
10:30		x	12	10:30		x	11
11:00	x			11:00	x		
11:30	ALMOÇO			11:30	ALMOÇO		
12:00							
12:30							
13:00	x			13:00	x		
13:30	x			13:30	x		
14:00	x			14:00	x		
14:30		x	7	14:30		x	7
15:00	LANCHE			15:00	LANCHE		
15:30							
16:00	x			16:00	x		
16:30		x	17	16:30	x		
17:00	x			17:00		x	7

Justificativas para ociosidade	
1	Atraso
2	Falta
3	Buscar equipamentos
4	Buscar ou trocar EPI
5	limpeza e arrumação da área de trab
6	Aguardando matéria prima
7	Interação colegas
8	Sala supervisão
9	Máquina com defeito
10	Aguardando OP (ordem de produção)
11	Necessidades fisiológicas
12	Deslocamentos
13	Reuniões de Segurança e Gestão
14	Falta de energia elétrica
15	Interrupção das atividades devido à movimentação de cargas próxima a bancada de trabalho
16	Revisão de projeto - projeto errado

Figura 16 - Carta de Amostragem

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Foram observados diariamente 10 colaboradores para o preenchimento da carta de amostragem: 5 operadores e 5 soldadores. As instruções para o preenchimento da carta de amostragem são descritas conforme a figura 17.

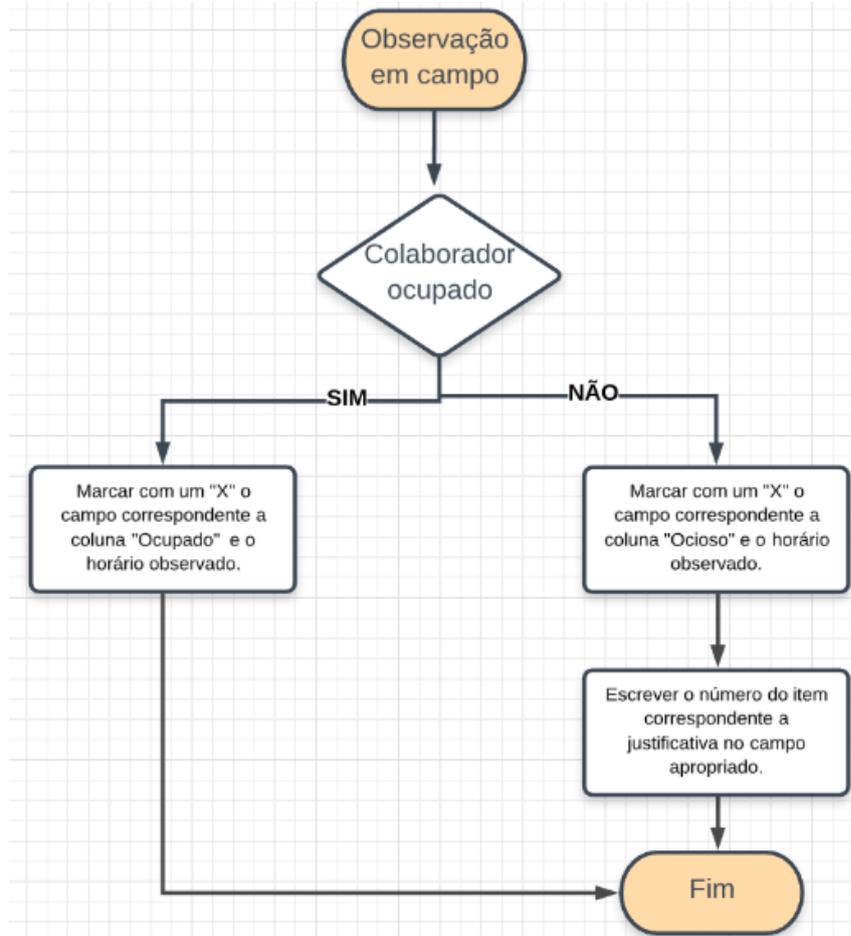


Figura 17 - Instruções para a Carta de Amostragem

Fonte: Desenvolvido pelo Autor, 2021

1º Passo: Observar se o colaborador está ocupado (executando alguma atividade do fluxo de produção) ou ocioso.

2º Passo: Se o colaborador estiver ocupado, marcar com um "x" o campo correspondente a coluna "Ocupado" e a linha do horário observado.

3º Passo: Se o colaborador estiver ocioso, marcar com um "x" o campo correspondente a coluna "Ocioso" e a linha do horário observado.

4º Passo: Caso a observação tenha sido de ocioso, escrever o número do item correspondente a justificativa no campo apropriado.

Ao completar os 45 dias observados, foi totalizado 4.720,00 pontos, sendo 3.536,00 pontos representando a situação de “ocupado” e 1.184,00 a de “ocioso”.

Para a entrevista subjetiva via supervisores, foi desenvolvido a figura 18.

Avaliação do especialista	
Fatores que impactam na produtividade global	(%)
Atraso	9,00%
Falta	4,00%
Buscar equipamentos	4,00%
Buscar ou trocar EPI	2,00%
Limpeza e arrumação da área de trabalho	2,00%
Aguardando matéria-prima	5,00%
Interação colegas	5,00%
Sala supervisão	1,00%
Máquina com defeito	10,00%
Aguardando OP (ordem de produção)	1,00%
Necessidades fisiológicas e beber água	10,00%
Deslocamentos	3,00%
Reuniões de segurança e gestão	7,00%
Falta de energia elétrica	6,00%
Interrupção das atividades devido à movimentação de cargas próximas a bancada de trabalho	1,00%
Atraso e revisão de projeto	30,00%

Figura 18 - Entrevista Subjetiva

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A entrevista foi realizada através de perguntas dirigidas aos especialistas que trabalham na empresa. Foram realizadas três entrevistas onde os entrevistados estimaram, em porcentagem, a representatividade de cada atividade que gera paralização na produtividade da empresa. As atividades listadas foram: Atraso; Falta; Buscar equipamentos; Buscar ou trocar EPI; Limpeza e arrumação da área de trabalho; Aguardando matéria-prima; Interação com colegas; Sala supervisão; Máquina com defeito; Aguardando OP (ordem de produção); Necessidades fisiológicas e beber água; Deslocamentos; Reuniões de segurança e gestão; Falta de energia elétrica; Interrupção das atividades devido à movimentação de cargas próximas a bancada de trabalho; Atraso e revisão de projeto.

2.3.3.3 Dados da Produtividade Global Real (Para validar a Estimativa via Produtividade Intrínseca e Ociosidade)

Os dados da produtividade diária apropriados para os produtos da amostra foram fornecidos pelos encarregados e coletados durante um período de 1 mês, conforme a tabela 10, tabela 11 e tabela 12. Nessas tabelas procurou-se obter a quantidade produzida de cada produto e o tempo total (hora) que cada atividade demandou para ser executada naquela data.

Tabela 10 - Produtividade global apropriada - Painel 600x2400 mm

Painel 600x2400			Painel 600x2400							
Painel 600x2400			Equipe (Hora)							
Data	Quantidade produzida (kg)	Quantidade produzida (pç)	Operador (hora)					Soldador (hora)		
			Cortar	Fresar	Furar	Instalação de Bucha e rebite	Desempeno	Aplicação de cal	Montagem	Solda
07/01/2019	1.147,50	45,00	5,25	2,00	5,00	4,50	1,50	0,50	5,00	9,00
08/01/2019	382,50	15,00	1,50	1,00	2,00	1,50	0,50	0,50	0,00	3,38
09/01/2019	510,00	20,00	3,00	1,00	2,00	2,25	0,50	0,50	1,00	4,50
10/01/2019	892,50	35,00	4,50	2,00	3,00	3,75	1,00	0,50	3,00	9,00
11/01/2019	892,50	35,00	4,50	2,00	3,00	3,75	1,00	0,50	4,00	9,00
14/01/2019	1.275,00	50,00	5,50	2,00	4,00	5,25	2,00	0,50	8,00	9,00
15/01/2019	1.020,00	40,00	4,50	2,00	4,00	4,50	2,00	0,50	4,00	9,00
16/01/2019	1.020,00	40,00	3,75	2,00	4,00	4,50	1,00	0,50	5,00	9,00
17/01/2019	1.657,50	65,00	5,50	3,00	5,00	6,00	2,00	0,50	8,00	9,00
18/01/2019	892,50	35,00	3,75	2,00	4,00	3,75	1,00	0,50	4,00	9,00
21/01/2019	1.275,00	50,00	5,50	2,00	5,00	5,25	1,50	0,50	6,00	10,00
22/01/2019	892,50	35,00	4,50	2,00	3,00	3,75	1,50	0,50	4,00	9,00
23/01/2019	1.020,00	40,00	6,00	2,00	5,00	6,75	1,50	0,50	6,00	9,00
24/01/2019	1.275,00	50,00	5,50	2,00	6,00	4,50	2,00	0,50	8,00	9,00
28/01/2019	1.147,50	45,00	5,50	2,00	5,00	5,81	1,50	0,50	5,00	10,00
29/01/2019	1.020,00	40,00	5,25	2,00	5,00	4,20	1,50	0,50	5,00	10,00
30/01/2019	1.785,00	70,00	5,50	3,00	7,00	4,13	2,50	1,00	8,00	10,00
31/01/2019	1.020,00	40,00	4,50	2,00	4,00	4,50	1,50	0,50	4,00	10,00
01/02/2019	1.275,00	50,00	5,50	2,00	6,00	4,50	2,00	0,50	8,00	10,00
04/02/2019	1.020,00	40,00	5,25	2,00	5,00	4,50	1,50	0,50	5,00	9,00
05/02/2019	1.657,50	65,00	5,25	3,00	6,00	5,25	2,00	1,00	8,00	9,00
06/02/2019	637,50	25,00	2,25	1,00	3,00	3,00	1,00	0,50	1,00	6,75

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 11 - Produtividade global apropriada - Painel 500x2400 mm

Painel 500x2400			Painel 500x2400							
Painel 500x2400			Equipe (Hora)							
Data	Quantidade produzida (kg)	Quantidade produzida (pç)	Operador (hora)					Soldador (hora)		
			Cortar	Fresar	Furar	Instalação de Bucha e rebite	Desempeno	Aplicação de cal	Montagem	Solda
07/01/2019	922,40	40,00	2,20	2,00	2,50	2,25	0,75	0,50	4,50	5,00
08/01/2019	691,80	30,00	1,50	1,00	2,00	1,50	1,00	0,50	3,00	6,00
09/01/2019	922,40	40,00	2,20	1,60	2,50	2,60	1,00	0,50	9,00	6,75
10/01/2019	576,50	25,00	2,00	1,00	2,25	2,00	1,00	0,50	4,00	3,40
11/01/2019	691,80	30,00	1,50	1,00	2,00	1,50	0,75	0,50	4,50	5,06
14/01/2019	1.037,70	45,00	2,20	2,00	2,67	2,50	0,75	1,00	12,00	8,00
15/01/2019	922,40	40,00	2,00	3,00	3,50	2,50	1,25	1,00	12,00	6,75
16/01/2019	807,10	35,00	1,50	2,00	2,60	3,00	1,00	0,50	6,00	5,50
17/01/2019	922,40	40,00	2,10	2,00	2,00	2,25	0,75	0,50	9,00	6,75
18/01/2019	576,50	25,00	1,50	1,00	2,50	1,50	0,50	0,50	3,00	5,00
21/01/2019	345,90	15,00	1,50	1,00	1,50	2,00	1,00	0,50	3,00	5,00
22/01/2019	922,40	40,00	2,10	2,00	2,50	2,25	0,75	0,50	7,50	5,00
23/01/2019	576,50	25,00	1,50	1,00	2,00	2,25	1,00	0,50	3,00	5,00
24/01/2019	691,80	30,00	2,20	3,00	3,30	2,60	1,25	0,50	12,00	6,75
25/01/2019	922,40	40,00	2,00	2,00	2,50	2,25	0,75	0,50	6,00	5,00
28/01/2019	807,10	35,00	1,80	2,00	2,50	2,25	0,50	0,50	4,50	5,00
29/01/2019	691,80	30,00	2,10	2,50	2,50	2,25	0,75	0,50	6,00	7,00
30/01/2019	576,40	25,00	2,20	2,00	3,00	3,00	0,75	0,50	12,00	7,00
31/01/2019	576,50	25,00	1,20	2,50	2,00	2,50	1,00	0,50	4,00	6,00
01/02/2019	1.037,70	45,00	2,20	2,50	2,00	2,60	0,75	1,00	9,00	5,06
04/02/2019	807,10	35,00	2,20	2,00	4,00	3,00	1,00	1,00	9,00	6,75
05/02/2019	576,50	25,00	2,50	2,50	3,00	2,60	1,25	1,00	7,50	5,06
06/02/2019	691,80	30,00	2,10	2,00	1,50	2,25	0,75	0,50	5,00	6,75

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 12 - Produtividade global apropriada - Canto interno 100x1800 mm

Data	Canto Interno		Canto Interno			
	Quantidade produzida (kg)	Quantidade produzida	Equipe (Hora)			
			Operador (hora)			
			Cortar	Furar	Fresar	Grau
07/01/2019	442,80	60,00	2,00	2,00	2,00	1,00
08/01/2019	590,40	80,00	2,00	2,50	2,50	0,50
09/01/2019	295,20	40,00	1,00	1,00	1,50	1,00
10/01/2019	442,80	60,00	1,00	2,00	2,00	0,50
11/01/2019	516,60	70,00	2,00	2,50	2,50	0,50
14/01/2019	442,80	60,00	1,00	2,00	2,00	0,50
15/01/2019	479,70	65,00	1,50	2,00	2,00	0,50
16/01/2019	590,40	80,00	2,00	2,50	2,50	1,00
17/01/2019	516,60	70,00	1,00	2,00	2,00	1,00
18/01/2019	627,30	85,00	1,00	3,00	2,50	1,00
21/01/2019	516,60	70,00	2,00	2,50	2,00	0,50
22/01/2019	701,10	95,00	1,50	3,00	3,00	1,20
23/01/2019	553,50	75,00	1,00	2,50	2,50	0,50
24/01/2019	258,30	35,00	1,50	1,00	1,00	0,50
25/01/2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28/01/2019	369,00	50,00	1,00	1,50	1,50	1,00
29/01/2019	332,10	45,00	1,00	1,50	1,00	1,00
30/01/2019	442,80	60,00	1,00	2,00	2,00	0,50
31/01/2019	664,20	90,00	2,00	3,00	3,00	1,00
01/02/2019	553,50	75,00	2,00	2,50	3,00	0,50
04/02/2019	369,00	50,00	1,00	1,50	2,00	0,50
05/02/2019	553,50	75,00	1,00	2,50	3,00	1,00
06/02/2019	221,40	30,00	1,00	1,00	0,50	0,50

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.4 Processamento dos dados (Método de Monte Carlo)

Após a coleta dos dados, as informações obtidas na indústria foram processadas e analisadas com o auxílio da ferramenta Microsoft Office Excel e do software @risk da Palisade Corporation. Este item visa descrever o passo a passo do método de Monte Carlo com a utilização do software. A sequência para o processamento dos dados está representada pela figura 19.

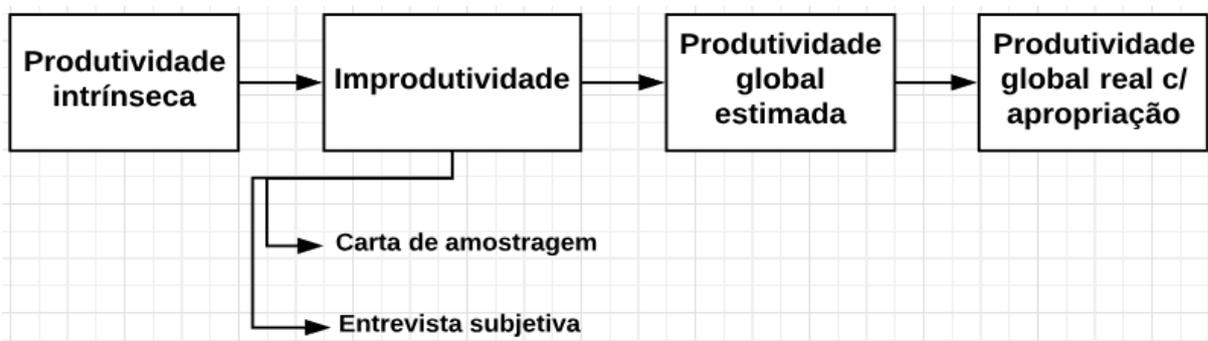


Figura 19 - Sequência para o processamento dos dados

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.4.1 Produtividade Intrínseca

Para a produtividade intrínseca, adotou-se a sequência exemplificada pela figura 20.

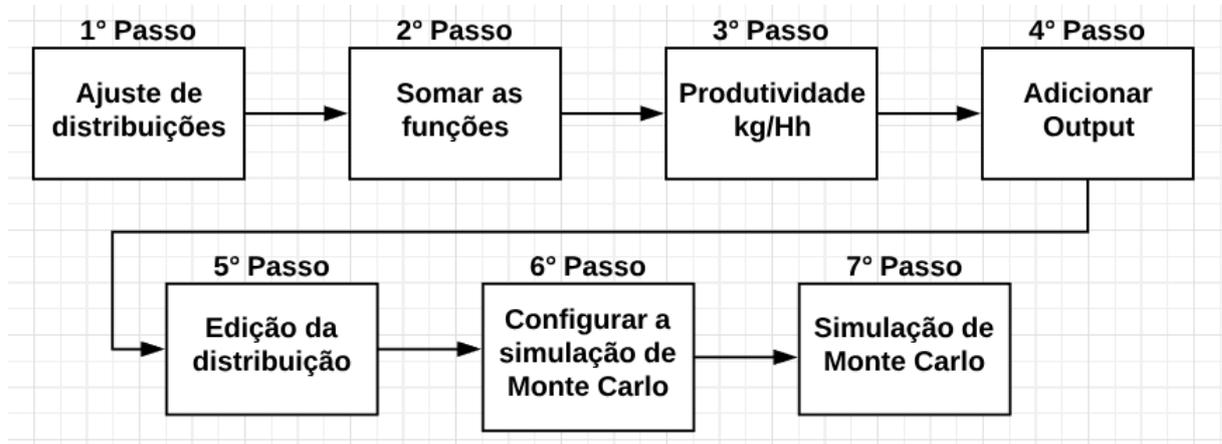


Figura 20 - Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Produtividade Intrínseca

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

1º Passo - Ajuste de distribuições.

O ajuste de distribuição é comum aos três produtos analisados (Fôrma de alumínio parede 600x2400mm, Fôrma de alumínio parede 500x2400mm e Forma de alumínio canto interno 100x1800mm). Para as Fôrma de alumínio parede 600x2400mm utilizou-se as seguintes tabelas: tabela 26, tabela 27 e tabela 28. Para as Fôrma de alumínio parede 500x2400mm utilizou-se as seguintes tabelas: tabela 29, tabela 30 e tabela 31. Para as Formas de alumínio canto interno 100x1800mm utilizou-se a tabela 32.

Nas tabelas, a coluna (tempo) representa o tempo medido em hora para executar uma tarefa e mediu-se esse tempo por 30 vezes. Esses dados representam o tempo gasto por 1 trabalhador para a execução de 1 painel, sem considerar os tempos improdutivos.

Dessa forma, em cada tabela, selecionou-se as trinta medidas de tempo para a execução de uma tarefa e em seguida, ativou-se a função de ajuste de distribuições do @risk, conforme figura 21.

@RISK - Ajustar Distribuições aos Dados

Dados | Distribuições a Ajustar | Bootstrap | Bins de Chi-Quad

Conjunto de Dados

Nome: Corte Perfil Lateral

Intervalo: D6:D35

Tipo: Dados Amostrais Contínuos

Valores são datas

Filtro

Tipo: Nenhum

? Excluir Ajustar Cancelar

Figura 21 - Ajuste de distribuições

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Após o ajuste das distribuições, o @risk apresenta a janela da figura 22. Nesse momento, deve-se selecionar o teste de aderência mais apropriado. Nesse trabalho será utilizado o Critério de informações de Akaike (AIC), pois é o teste de aderência recomendado pelo @risk. Em seguida, selecionou-se a opção “escrever na célula” e escolheu-se uma célula do Excel para receber as informações da distribuição.

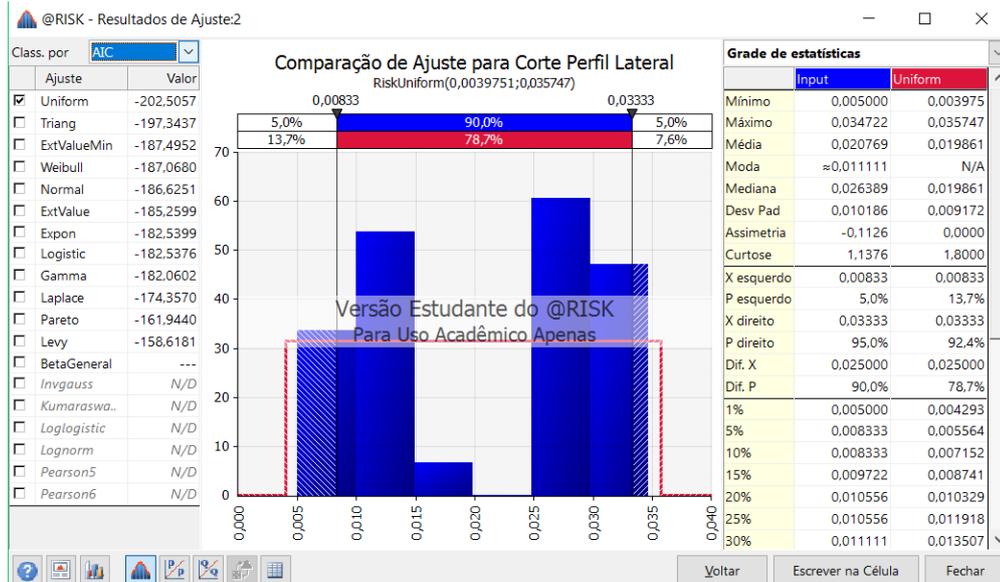


Figura 22 - Resultado Ajuste

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Esse procedimento é repetido para as outras atividades e cada atividade terá uma célula correspondente com as distribuições ajustadas. Dessa forma, todas as colunas “Tempo (hora)” da tabela 26, tabela 27, tabela 28, tabela 29, tabela 30, tabela 31 e tabela 32 terão uma célula correspondente com as distribuições ajustadas.

2º Passo – Somar as funções.

O segundo passo também é comum aos três produtos. Após o ajuste de todas as funções, necessitou-se somar as células que continham os dados das distribuições ajustadas para obter a produtividade do processo (produtividade intrínseca) de cada produto.

3º Passo – Produtividade kg/Hh (Produtividade Intrínseca).

Nessa etapa, utiliza-se a informação da massa (kg) unitária de cada produto. Para a fôrma de alumínio parede 600x2400mm utiliza-se 25,5 kg; para a Fôrma de alumínio parede 500x2400mm utiliza-se 23,06 kg; e para a Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm utiliza-se 7,38 kg.

Em seguida, deve-se realizar a divisão da massa (kg) das fôrmas pelo somatório das distribuições ajustadas. Esse cálculo deverá ser realizado individualmente para cada tipo de fôrma. Os resultados das divisões são:

Fôrma de alumínio parede 600x2400mm -> 43,82 kg/Hh

Fôrma de alumínio parede 500x2400mm -> 42,28 kg/Hh

Fôrma de alumínio canto interno 100x1800mm -> 84,08 kg/Hh

4° Passo – Adicionar Output

Na barra de ferramentas do @risk, deve-se selecionar a opção Adicionar Output, conforme figura 23 e indicar o output na célula que contém as informações da produtividade kg/Hh. Necessita-se que esse procedimento seja repetido para os três índices de produtividade kg/Hh.

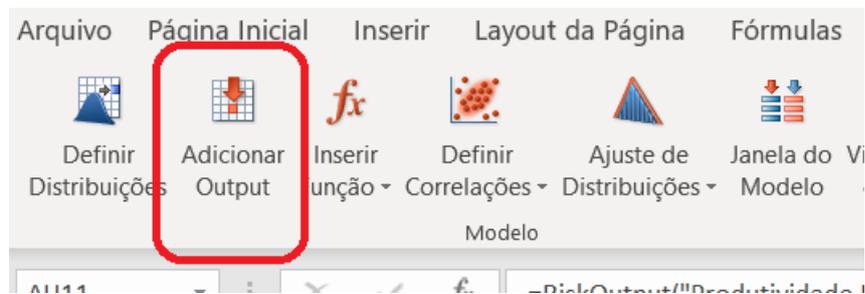


Figura 23 - Adicionar Output

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

5° Passo – Edição da distribuição

Nessa etapa, deve-se editar as distribuições da 1° etapa cujo a função tende ao infinito ou quando existirem valores negativos. Cada distribuição deverá ser analisada individualmente através da ferramenta Artista de distribuição. Pressiona-se o botão direito do mouse sobre a célula, que recebeu as informações da 1° etapa, para escolher a opção Artista de distribuição, conforme figura 24.

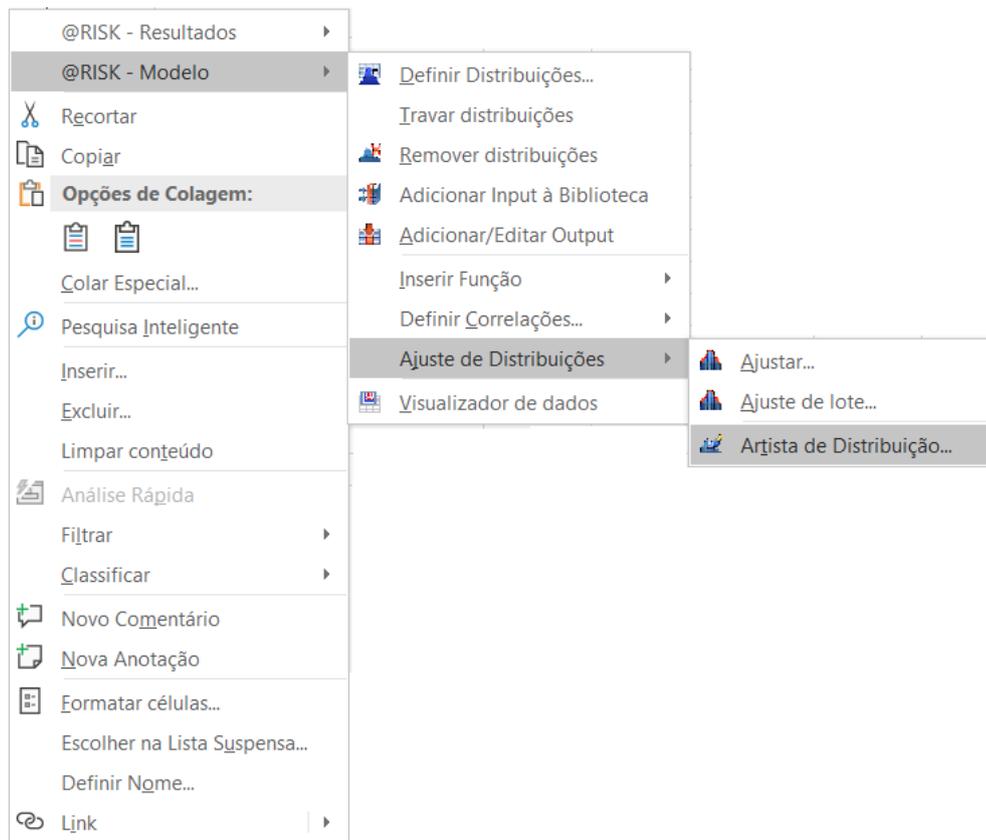


Figura 24 - Artista de distribuição

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

6º Passo – Configurar a simulação de Monte Carlo

Antes de iniciar a simulação é necessário realizar as configurações do programa. Essa configuração é realizada conforme a figura 25. Nesse trabalho será utilizado o número de iterações igual a 5000, pois é o número recomendado pelo programa. Na aba “visualizar”, selecionou-se as opções desejáveis para se obter os resultados. Na aba “amostragem”, selecionou-se a opção Hipercubo Latino para o tipo de amostragem, essa escolha é dada pelo fato de existirem poucos valores na amostra. Na aba “macros” também se utiliza as opções recomendadas pelo programa. Na aba “convergência” seleciona-se a opção “Apenas Inputs com função RiskConvergence” para que o programa indique os erros nos inputs, caso existam.

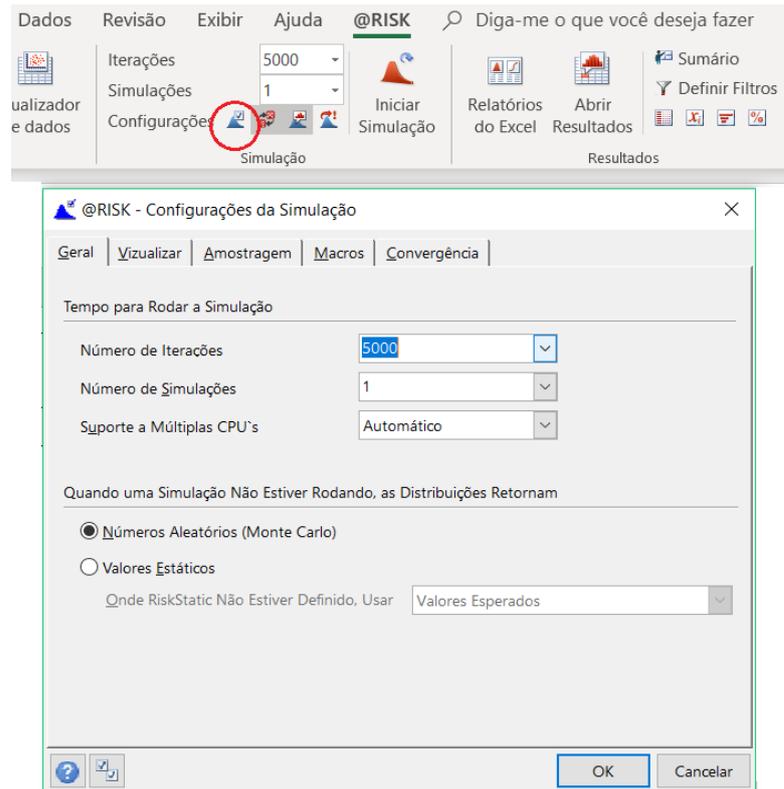


Figura 25 - Configuração do programa

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

7º Passo – Simulação de Monte Carlo

Após a configuração, deve-se iniciar a simulação através do ícone “iniciar simulação”, conforme figura 26. Esse procedimento deverá ser repetido para os três produtos.

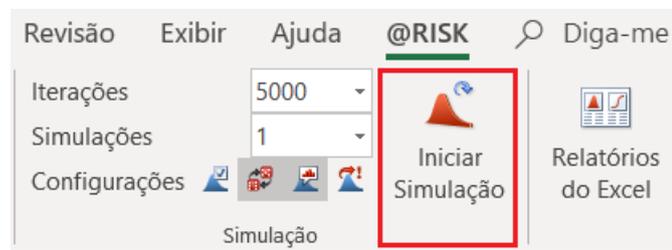


Figura 26 - Simulação de Monte Carlo

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

2.3.4.2 Ociosidade

Mediu-se a ociosidade utilizando dois métodos (Carta de amostragem e entrevista subjetiva). Por tanto, o processamento dos dados também acontecerá de duas formas: A primeira pela carta de amostragem e a segunda pela entrevista subjetiva.

Através da carta de amostragem, representada pela figura 16 do item 2.3.3.2, foi desenvolvida uma tabela para o fator de ociosidade diária para cada atividade, para que assim, pudesse ser aplicado o método de Monte Carlo. Essa tabela está representada pela figura 27.

Motivos para ociosidade	Dia 03-07-2018		Dia 04-07-2018	
	Dia 03-07-2018	Dia 04-07-2018	Dia 03-09-2018	Dia 04-09-2018
1 Atraso	0,013	0,013	0,038	0,031
2 Falta	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Buscar equipamentos	0,019	0,006	0,050	0,013
4 Buscar ou trocar EPI	0,006	0,000	0,000	0,006
5 limpeza e arrumação da área de trabalho	0,000	0,000	0,000	0,013
6 Aguardando matéria prima	0,000	0,000	0,013	0,044
7 Interação colegas	0,081	0,044	0,013	0,038
8 Sala supervisão	0,000	0,013	0,013	0,013
9 Máquina com defeito	0,000	0,019	0,006	0,006
10 Aguardando OP (ordem de produção)	0,006	0,000	0,000	0,000
11 Necessidades fisiológicas	0,031	0,044	0,031	0,044
12 Deslocamentos	0,019	0,031	0,025	0,038
13 Reuniões de Segurança e Gestão	0,000	0,000	0,000	0,000
14 Falta de energia elétrica	0,000	0,000	0,000	0,000
15 Interrupção das atividades devido à	0,000	0,000	0,000	0,000
16 Revisão de projeto - projeto errado	0,000	0,006	0,000	0,000

Figura 27 - Fator de ociosidade diária para cada atividade

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Após o desenvolvimento da figura 27, adotou-se uma sequência de passo a passo similar ao da produtividade intrínseca. Exemplificado pela figura 28.

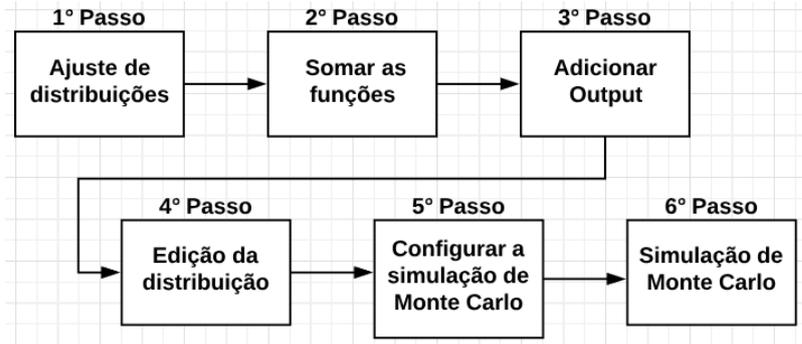


Figura 28 - Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Ociosidade

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

1º Passo - Ajuste de distribuições.

O ajuste de distribuição é comum para todas as atividades que compõem os motivos para ociosidade. Dessa forma, deve-se selecionar todos os dados que contém os valores do fator de ociosidade de cada atividade e escolher a opção ajustar do @risk, conforme figura 29. Esse procedimento foi repetido para todas as atividades.

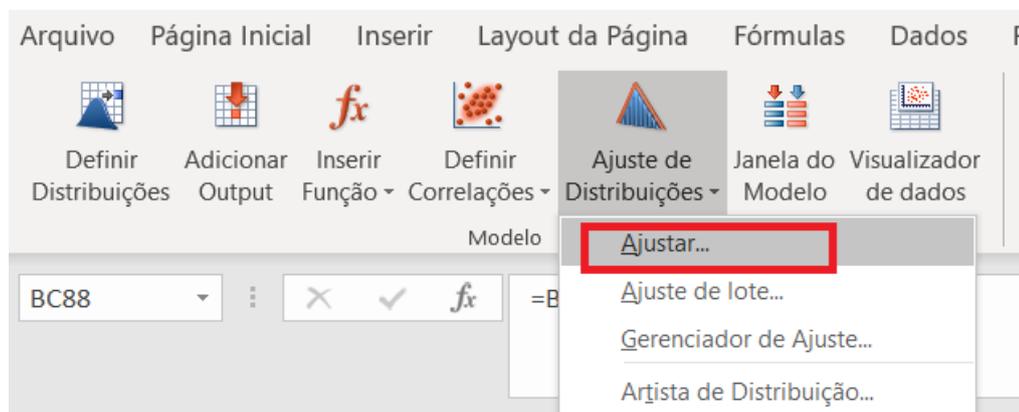


Figura 29 - Ajuste de distribuição

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

A configuração é semelhante ao 1º passo da simulação da produtividade intrínseca. Deve-se selecionar o teste de aderência mais apropriado. Nesse trabalho será utilizado o Critério de informações de Akaike (AIC), pois é o teste de aderência recomendado pelo @risk. Em seguida, selecionou-se a opção “escrever na célula” e escolheu-se uma célula do Excel para receber as informações da distribuição.

2° Passo – Somar as funções.

Após o ajuste de todas as funções, necessitou-se somar as células que contém os dados das distribuições ajustadas.

3° Passo – Adicionar Output

Na barra de ferramentas do @risk, deve-se selecionar a opção Adicionar Output.

4° Passo – Edição da distribuição

Nessa etapa, edita-se as distribuições da 1° etapa cujo a função tende ao infinito ou quando existirem valores negativos. Cada distribuição deverá ser analisada individualmente através da ferramenta Artista de distribuição. O procedimento é semelhante ao descrito no 5° passo da simulação da produtividade intrínseca.

5° Passo – Configurar a simulação de Monte Carlo

Antes de iniciar a simulação é necessário realizar as configurações do programa. O procedimento é semelhante ao descrito no 6° passo da simulação da produtividade intrínseca. Nesse trabalho utilizou-se o número de iterações igual a 5000, pois é o número recomendado pelo programa. Na aba “visualizar” é selecionou-se as opções desejáveis para se obter os resultados. Na aba “amostragem”, selecionou-se a opção Hipercubo Latino para o tipo de amostragem, essa escolha é dada pelo fato de existirem poucos valores na amostra. Na aba “macros” também se utilizou as opções recomendadas pelo programa. Na aba “convergência” seleciona-se a opção “Apenas Inputs com função RiskConvergence” para que o programa indicar os erros nos inputs, caso existam.

6° Passo – Simulação de Monte Carlo

Esse procedimento é semelhante ao descrito no 7° passo da simulação da produtividade intrínseca. Após a configuração, deve-se iniciar a simulação através do ícone “iniciar simulação”. Sendo este o último passo.

O processo descrito acima serve para apresentar a função composta da ociosidade. Esta será confrontada com a curva da função total que servirá para validação do método.

A curva da função total ocorre quanto é somada toda a ociosidade diária e em seguida, realiza-se um ajuste de distribuição nas células totais da planilha. Dessa forma, define-se o output e utiliza-se o “artista de distribuição” para editar a distribuição. A configuração para a simulação do método de Monte Carlo é semelhante a produtividade intrínseca.

2.3.4.2.1 Entrevista subjetiva

Para a análise dos dados obtidos através da entrevista subjetiva, foi utilizado o roteiro de cálculo apresentada na figura 30.

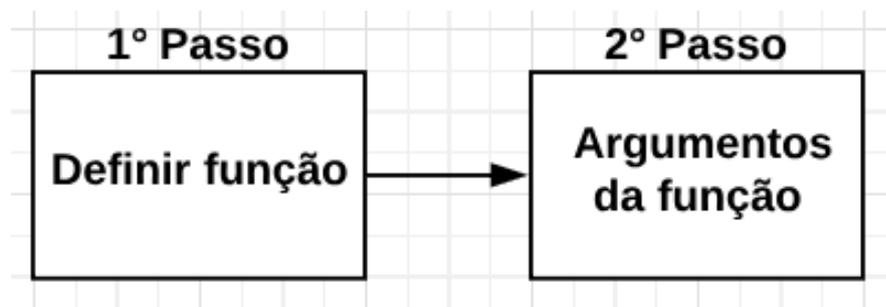


Figura 30 - Passo a passo para a simulação de Monte Carlo – Entrevista subjetiva

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Os dados relevantes da entrevista que foram considerados nesse roteiro de cálculo foram as estimativas mínima, média e máxima. A ociosidade mínima foi 30, a ociosidade média foi 40 e a ociosidade máxima foi 44.

1º Passo – Definir a função

O primeiro tipo de função analisada é a função contínua RiskTriang. Esta função especifica uma distribuição triangular com três pontos com a probabilidade de ocorrência dos valores mínimos e máximos igual a zero. Deve-se selecionar a opção Inserir Função do @Risk, conforme figura 31.

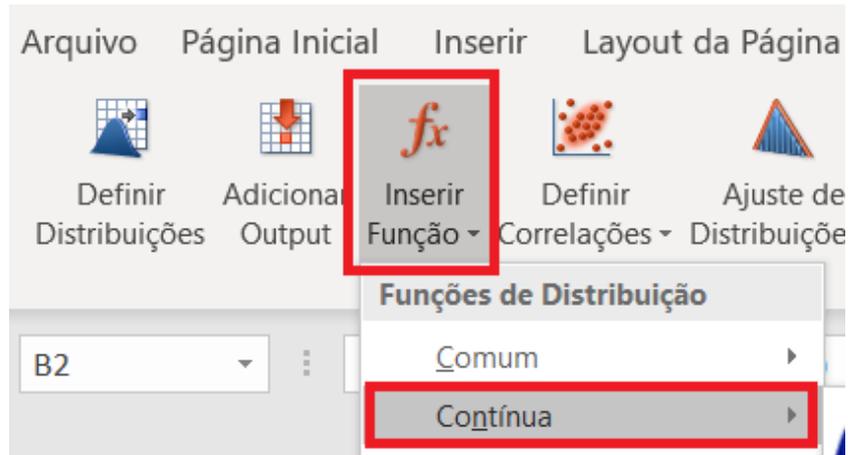


Figura 31 - Definição de função - Ociosidade especialistas

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

O segundo tipo de função analisada é a função comum RiskUniform. Esta função especifica uma distribuição de probabilidade uniforme. Cada valor no intervalo da distribuição uniforme possui probabilidade igual a ocorrência.

2º Passo – Argumentos da função

Para a função contínua RiskTriang considerou-se os seguintes valores: Mínimo igual a 0,30, Mais provável igual a 0,40 e Máximo igual a 0,44.

Para a função uniforme RiskUniform considerou-se os seguintes valores: Mínimo igual a 0,30 e Máximo igual a 0,44.

2.3.4.3 Produtividade global estimada

A produtividade global estimada será obtida através da fórmula abaixo

$$Produtividade\ Global\ Dados\ de\ Campo = \frac{Produtividade\ Intrínseca}{1 + Ociosidade}$$

Os dados de entrada são os da produtividade intrínseca e o da ociosidade, obtidos no processamento dos dados dos itens 2.3.4.1 e 2.3.4.1. Sendo a ociosidade obtida pela carta de amostragem.

O output de cada produto analisado será a célula do Excel que contém a fórmula apresentada acima. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Produtividade global estimada

	Painel 600x2400mm	Painel 500x2400mm	Canto 100x1800mm
Produtividade Global Dados de Campo	38,06 (kg/Hh)	38,39 (kg/Hh)	75,87 (kg/Hh)

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.3.4.4 Produtividade global real apropriada

O processamento dos dados globais reais coletados na indústria, pelas tabela 7, tabela 8 e tabela 9, serão analisados conforme figura 32.

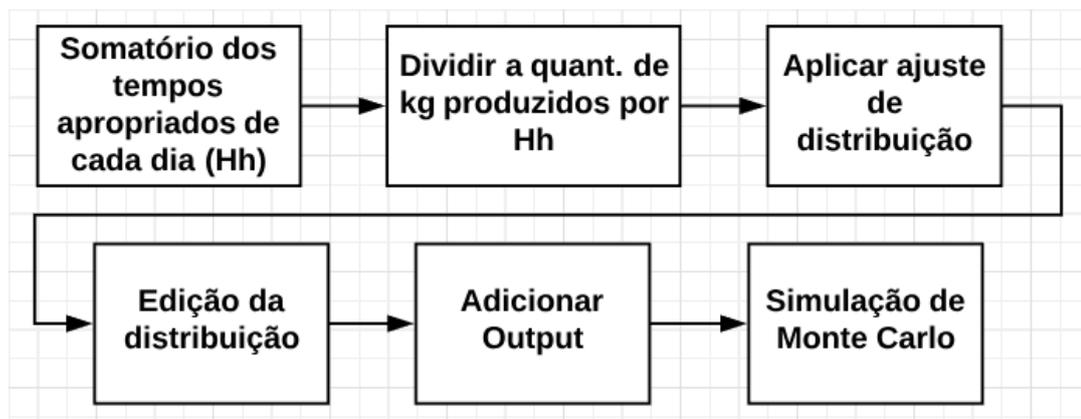


Figura 32 - 1º análise da produtividade global real

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

2.4 METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dividiu-se a metodologia da análise dos resultados em 5 etapas. São elas: 1ª Etapa – Definição das perguntas; 2ª Etapa – Definição do que medir; 3ª Etapa – Definição de como medir; 4ª Etapa – Coleta de dados; 5ª Etapa – Análise de dados e interpretação dos resultados.

Na primeira etapa definiu-se algumas perguntas para serem respondidas no final do experimento. São elas: Quais são as curvas de probabilidade acumulada para a produtividade

intrínseca da fabricação das fôrmas de alumínio? Quais são as atividades que mais influenciam na produtividade intrínseca da fabricação das fôrmas de alumínio? O método de Monte Carlo a partir da carta de amostragem é válido para medir a ociosidade para a fabricação de formas de alumínio? É possível mensurar a ociosidade da fábrica a partir da opinião subjetiva dos especialistas? Quais são as atividades que mais geram ociosidade na empresa? Qual é a produtividade global estimada para cada produto estudado no experimento? Qual é a produtividade global real apropriada para cada produto estudado no experimento? A produtividade global estimada obtida pelo Método de Monte Carlo é válida?

Na segunda etapa definiu-se quais dados seriam medidos. Para responder os questionamentos realizados na primeira etapa, necessitou-se da coleta das seguintes informações na indústria: Definição do fluxo de produção dos produtos e descrição das atividades envolvidas; tomada de tempo (produtividade intrínseca) para cada produto a ser estudado; levantamento dos tempos de ociosidade; entrevista subjetiva com os especialistas para conhecer a ociosidade; levantamento quantitativo da quantidade (kg) produzida e dos tempos (Hh) apropriados para a produtividade global real.

Na terceira etapa definiu-se como esses dados seriam medidos. O processo de mensuração pode afetar na qualidade dos dados coletados, por isso, procurou-se coletar as informações na fábrica em dias com expediente e condições ambientais normais da empresa. Definiu-se também que os dados seriam coletados pelo autor e disponibilizado um período de seis meses para o processamento e análise das informações.

Na quarta etapa coletou-se os dados por meio de observações em campo e entrevistas. Através de uma planilha as informações foram devidamente identificadas e organizadas.

Na quinta etapa analisou-se os dados e interpretou-se os resultados. Nessa etapa utilizou-se o software @risk da Palisade Corporation para gerar gráficos para facilitar a visualização mais clara dos resultados e analisar as informações. Ao interpretar os resultados, observou-se se os questionamentos das etapas anteriores foram atendidos ou se há alguma limitação na pesquisa. Dessa forma, ao seguir todas as etapas dessa metodologia, possível garantir que os resultados do experimento são confiáveis e sólidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE

A produtividade consiste em um fator primordial para o crescimento econômico e a prosperidade de qualquer nação. Por sua vez, maior produtividade se traduz em salários mais altos, lucros, artigos mais baratos e melhores para os consumidores, beneficiando, assim, a sociedade como um todo (VOGL; ABDEL-WAHAB, 2015).

A definição geral de produtividade é a capacidade de transformar insumos ou fatores de produção em produto. Dessa forma, um indicador de produtividade deve medir a efetividade com que os fatores de produção são utilizados para produzir bens e serviços, podendo ser comparado tanto entre diferentes períodos quanto entre diferentes unidades produtivas (SASSERON, 2016).

Logo, a produtividade do trabalho de construção está interligada ao custo e à programação. Portanto, se a produtividade do trabalho apresentar um investimento baixo, então o custo e o desempenho da programação provavelmente serão baixo (THOMAS, 2012).

O Yi e Chan (2014) relataram a "produtividade" como o poder de ser produtivo, eficiência e a taxa a que os bens são produzidos (YI; CHAN, 2014). O conceito de produtividade é muito antigo, porém muito relevante. A produtividade corresponde à capacidade de melhorar o valor e a qualidade de serviços ou produtos. Isso é, a produtividade refere-se à correlação quantitativa entre entrada e saída, ou seja, a capacidade de uma indústria gerar saídas de insumos. (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018). Logo, a saída é a quantidade de trabalho realizado e a entrada é a quantidade de horas ou dias para a realização do trabalho (MANI *et al.*, 2017).

Dessa forma, existem diversas abordagens para a medição da produtividade para uma determinada tarefa. O termo "produtividade" é geralmente usado para denotar uma relação entre o resultado e os insumos associados utilizados no processo de produção. Conseqüentemente, a produtividade da construção pode ser considerada como uma medida de resultados que são obtidos por uma combinação de insumos (YI; CHAN, 2014).

Portanto, a produtividade do trabalho na indústria da construção tem recebido grande atenção e discussão devido à sua importância crítica para a rentabilidade dos projetos. A produtividade é também um indicador de desempenho que pode ser utilizado para verificar o sucesso de uma atividade (YI; CHAN, 2014). Segundo Tabim *et al.*, (2016) a produtividade é medida pela seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Homens X Horas}}{\text{Quantidade de serviço}}$$

Os conceitos podem ser definidos como de produtividade Intrínseca (PI) e produtividade global (PG). Sendo, PI o tempo produtivo de uma atividade em um determinado procedimento e a PG ocorre quando é considerado todos os tempos, inclusive, os tempos de pausa (ociosidade) (TABIM *et al.*, 2016).

Bierman, Marnewick e Pretorius (2016) apresentaram três conceitos de produtividade: Produtividade atual, Produtividade alcançável e Produtividade real. Esses conceitos podem ser representados na figura 33.

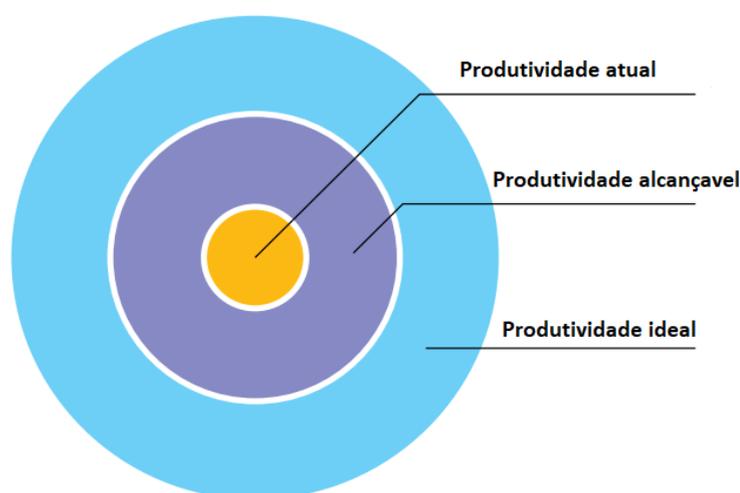


Figura 33 - relação entre produtividade ideal, obtida e real

Fonte: Adaptado pelo Autor (BIERMAN; MARNEWICK; PRETORIUS, 2016, p.38).

Existem dois níveis de produtividade. A produtividade que pode ser alcançada em situações ideais, que eles chamam de 'produtividade ideal' (IP) e, por outro lado, produtividade realista que eles chamam de 'produtividade alcançável' (OP). A produtividade que é realmente alcançada é 'produtividade real' (AP). Eles definem ainda um fator de redução que representa um fator que inibe a obtenção de um valor de IP completo. Em outras palavras, a produtividade real é a produtividade ideal da qual o fator de redução é subtraído. (BIERMAN; MARNEWICK; PRETORIUS, 2016, p.38).

Uma expressão matemática comum para produtividade é a saída dividida pela entrada (Produtividade = Saída / Entrada). Portanto, pode-se definir que a produtividade pode melhorar se a saída aumentasse com a entrada, permanecendo constante ou se a entrada diminuísse e a saída permanecesse constante (BIERMAN; MARNEWICK; PRETORIUS, 2016).

Os autores Yi e Chan (2014) mencionaram que a American Association of Cost Engineers define a produtividade como um sinônimo de eficiência no trabalho, seja boa ou ruim, quando comparada a uma base ou norma estabelecida. Dessa forma, a produtividade do trabalho é uma proporção da produtividade real sobre o esperado, expressa matematicamente como a equação a seguir.

$$\text{Relação de desempenho (PR)}_{im} = \frac{\text{PRODUTIVIDADE REAL } im}{\text{PRODUTIVIDADE ESPERADA } im}$$

onde i = dia de trabalho sendo considerado; e

m = atividade em projeto.

No ponto de vista dos economistas e dos contabilistas, a produtividade do trabalho pode ser dada pela relação entre a entrada total de recursos e produção total do produto. Porém, O Yi e Chan (2014) definiram a produtividade do trabalho como produção real por hora trabalhada. Nessa análise exclui-se férias, feriados e licença por doença, mas inclui remuneração e horas extras não remuneradas (YI; CHAN, 2014).

A produtividade corresponde à capacidade de melhorar o valor e a qualidade de serviços ou produtos (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018). Em outras palavras, a produtividade refere-se à correlação quantitativa entre entrada e saída, ou seja, a capacidade de uma indústria gerar saídas de insumos. Logo, as medidas de produtividade da construção total, está relacionado as saídas e todas as entradas, no qual são consideradas como; produtividade parcial dos fatores, muitas vezes referido como produtividade de fator único, onde as saídas e entradas únicas ou selecionadas são considerado (YI; CHAN, 2014).

Portanto, uma definição operacional que se adapta bem à definição do conceito e representa o modelo de entrada-saída é a quantidade ou quantidade de saída por unidade de entrada de recursos. (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018). Principais características incorporadas nesta definição estão resumidas na expressão abaixo.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Quantidade ou quantidade de saída}}{\text{Entrada de recursos}}$$

Esta definição de produtividade também está alinhada ao conceito do autor Mani et al., (2017) que define a produtividade, geralmente, como a proporção de saída para entrada. A

saída é a quantidade de trabalho realizado e a entrada é a quantidade de horas ou dias para a realização do trabalho. Kisi *et al.* (2016), mencionam que a produtividade é geralmente definida como a razão de saída para entrada e Saída, neste contexto, pode ser visto como qualquer resultado do processo seja um produto ou serviço, enquanto fatores de entrada consistem em quaisquer recursos físicos utilizados em um processo.

No contexto geral, existem várias perspectivas ou definições de produtividade que reflete os objetivos a serem alcançados, os recursos utilizados, medidas adotadas e benchmarks usados. No entanto, o fio principal (qualquer que seja a perspectiva ou definição levada em conta) em todas as interpretações contextuais ou definições de produtividade relacionam-se a eficiência e a eficácia (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018). Logo, o autor Mani *et al.*, (2017) definiu os seguintes conceitos de produtividade:

- Produtividade real: É a produtividade alcançada no campo. Ou seja, absorve os tempos improdutivos.
- Produtividade ótima: É a produtividade mais provável para ocorrer durante a execução de uma atividade. Esta serve para comparar com a produtividade real e quantificar se um projeto está sendo realizado dentro do tempo esperado.
- Fronteira de produtividade: É a produtividade máxima teórica, ou seja, as ineficiências operacionais e de sistemas estão descartadas. Essas ineficiências incluem condições climáticas desfavoráveis, má saúde dos trabalhadores, falta do trabalhador no trabalho por motivo de saúde. Dessa forma, considera-se as condições perfeitas para a realização das tarefas. Especificamente, comparando versus produtividade ideal, os gerentes podem calcular a eficiência absoluta.

A figura 34 ilustra como a produtividade real geralmente fica abaixo da produtividade ótima, embora existam exceções em que os dois valores coincidem. A diferença entre a ótima e o real surge por causa de ineficiências operacionais - por exemplo, má sequenciação de atividades, equipamento inadequado ou ferramentas, incompatibilidade entre habilidades e complexidade da tarefa, excessivas horas extras e poucas condições de iluminação (MANI *et al.*, 2017).

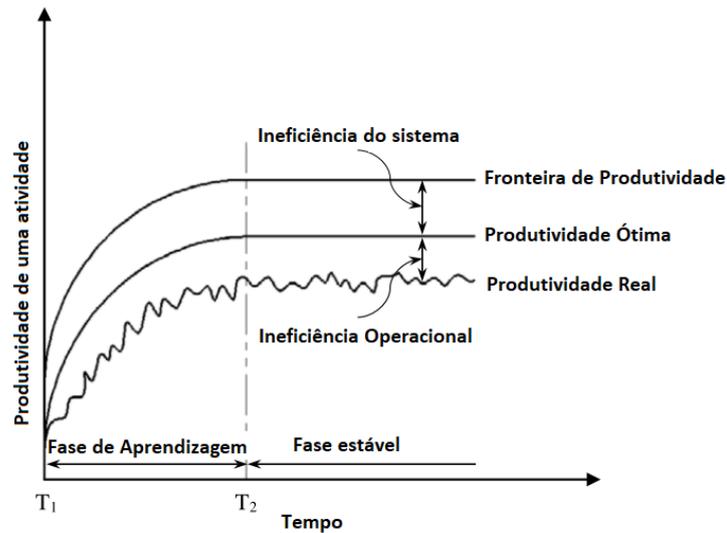


Figura 34 - Dinâmica da Produtividade

Fonte: Adaptado pelo Autor (MANI et al., 2017, p.2).

Yi, Chan (2014) concluiu que a produção horária é a medida mais confiável de produtividade para atividades de construção. Para operações de trabalho intensivo, o foco da análise é o trabalho produtividade, que mede a entrada como horas de trabalho e a saída como instalados quantidades. A produtividade do trabalho foi comparada com as médias históricas. No entanto, esta prática fornece apenas uma medida relativa de eficiência, uma vez que existe um critério objetivo. Produtividade ótima do trabalho, definida como nível mais alto de produtividade sustentável que pode ser alcançado no campo sob boas gestões e as condições de campo típicas. Para estimar a produtividade ótima do trabalho, é necessário identificar e estima ineficiências geralmente presentes em operações de construção que impactam o trabalho valores de produtividade. Essas ineficiências são categorizadas em sistema e operacional ineficiências (KISI *et al.*, 2016).

Shehata e El-Gohary (2011) também mencionam que a produtividade pode ser definida e medida de várias maneiras. Em construção, a produtividade é geralmente tomada para significar produtividade do trabalho, isto é, unidades de trabalho colocadas ou produzidas por homem-hora. O inverso da produtividade do trabalho, horas-homem por unidade (taxa unitária), também é comumente utilizado. Esta é uma atividade orientada modelo de produtividade, muitas vezes referido como produtividade de fator parcial ou único. A produtividade também foi definida como homem-hora por Ferreira, Constancio e Martins (2011).

Para Hickson e Ellis (2014) a produtividade do trabalho de construção é uma variável complexa para medir, seus componentes são vagos e difíceis de quantificar. Um entendimento abrangente do conceito de produtividade deve ser alcançado para analisá-lo com sucesso. Conceitos fundamentais fornecidos em estudos anteriores incluem: "dólares de produção por pessoa-hora de trabalho de entrada", e "a quantidade de trabalho produzido por homem-hora, equipamento-hora ou hora da equipe".

Da mesma forma, a interpretação da expressão básica de saída / entrada pode ser aplicada para avaliar a eficácia do trabalho pela eficiência do uso de insumos (produtividade parcial do fator) onde a produção é avaliada com relação a um único fator de produção (HICKSON; ELLIS, 2014).

$$\text{Produtividade do trabalho} = \frac{\text{saída}}{\text{Entrada de trabalho}}$$

Outra definição de produtividade foi dada por Martins (2013), onde o termo produtividade é referente à eficácia com que se transformam as entradas de um processo produtivo em saída, conforme a figura 35. Essa definição de produtividade é usada com mais frequência por economistas, segundo Zhang, Nasir e Hass (2017).

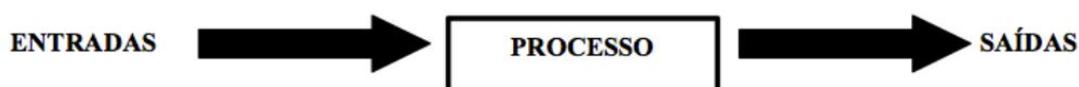


Figura 35 - Relação entre entradas e saídas num processo produtivo

Fonte: (MARTINS, 2013, p.6)

A definição da produtividade está relacionada aos recursos humanos utilizados para obtenção do produto no tempo necessário para tal. Portanto, a produtividade pode ser definida como a relação do homem-hora [Hh] utilizada no processo de conversão construtiva com a quantidade de produtos obtidos (MARTINS; FERREIRA, 2013). Logo, a produtividade é classicamente definida pela quantidade de horas homem por unidade produzida. Também pode-se definir produtividade como o valor dos resultados, por meio do qual os produtos ou serviços são divididos pelo valor dos bens ou recursos. Para avaliar a produtividade, nas

indústrias de construção a quantidade de tempo de trabalho é estimada em hora para produzir uma unidade de produção ou serviço. Portanto, a mesma é eficaz na transformação de entradas força de trabalho, materiais e equipamentos - em produtos de produção ou de obra que cumprem os objetivos (FERREIRA; TABIM, 2015). A produtividade é medida pela seguinte fórmula.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Homens X Horas}}{\text{Quantidade de serviço}}$$

Fundamentando os dados discorridos no parágrafo anterior, segundo o Zhang; Nasir e Haas (2017) na indústria da construção, a produtividade é definida no contexto mais restrito (e mais útil) das horas de mão de obra do local de trabalho dividido pelo trabalho no local (ou o inverso, trabalho no local dividido por horas de trabalho. Na construção, a produtividade é geralmente considerada como produtividade do trabalho, isto é, unidades de trabalho colocadas ou produzidas por homem-hora.

Logo, a produtividade na indústria da construção também é definida por vários termos com: unidade taxas, fator de desempenho, eficiência, fator de custo e produção. Entre as numerosas definições de produtividade do trabalho no setor da indústria da construção civil estão as horas-homem, adotada para quantificar um período especificado, isto é, entrada dividida por saída, e usada como a medida mais comum de produtividade (WOO, 2016).

Além disso, o homem-hora por unidade de trabalho colocada é chamada de taxa unitária. As quantidades de trabalho colocado ou produzido durante um período de tempo especificado dividido horas-homem durante o mesmo período de tempo, também é definir produtividade. O intervalo de tempo comumente usados é diário, semanal, mensal ou toda a duração do projeto. Além do que, além do mais, eficiência é usada para descrever a perda relativa de produtividade em comparação com algum período de referência (WOO, 2016, p. 2615).

Ainda, de acordo com o autor Martins (2013), o termo produtividade tem diversas definições e que podem variar conforme a área de estudo. Há uma linha de raciocínio que diz que quanto maior a quantidade de trabalho, maior será a produtividade, enquanto outro pensamento diz que apenas a melhoria das condições laborais melhora a produtividade. Já os gerentes de projeto e profissionais de construção definem a produtividade como a razão entre as horas de trabalho ganhas e as horas de trabalho gastas. Como as atividades de construção são normalmente intensivas em mão-de-obra, a produtividade é frequentemente referida como produtividade do trabalho (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017).

O estudo da produtividade está relacionado à saída ou horas que cada trabalhador precisa fazer para concluir o trabalho. Diversos países, no entanto, medem a taxa de produtividade de seus trabalhadores com base na produção em dólares para cada trabalhador-hora ou preço total por elemento de produção. Shehata e El-Gohary (2011) mencionam que nos EUA e no Reino Unido, o conceito mais usual é o de horas ganhas. Esse conceito depende do estabelecimento de um conjunto de saídas padrão ou “normas” para cada operação da unidade. Assim, um número de Horas “ganhas” são associadas a cada unidade de trabalho concluída. “Produtividade” pode então ser definida como a razão de ganho para horas reais. Logo, o problema com este conceito está em estabelecer “normas” confiáveis, para padrões. Depende também do método utilizado para medir a produtividade e da medida em que a conta é de todos os fatores que a afetam (SHEHATA; EL-GOHARY, 2011).

Portanto, uma declaração como "a produtividade da construção no Reino Unido é 30% maior que a do Egito" é sem significado. Sua verdade depende da definição de produtividade e de como ela é medida. Se, por exemplo, construção de blocos de escritórios no Cairo e Londres é comparada, um indicador como metros quadrados de área de piso concluída por semana pode ser usado. Mas como isso leva em conta as diferenças na especificação (qualidade), design (capacidade de construção), normas de construção, tecnologia de construção, recursos disponíveis e clima e assim por diante. Algumas agências usam o modelo econômico em termos de dólares, já que os dólares são a única medida comum a ambos entradas e saídas. A equação abaixo mostra a produtividade total dos fatores (TFP), que representa esse tipo de modelo (EL-GOHARY; AZIZ, 2013).

$$TFP = \frac{\textit{Produção total}}{\textit{Trabalho + Materiais + Equipamentos + Energia + Capital}}$$

Para modelo específico de projeto é necessário uma definição mais precisa que pode ser usada para planejamento de programas específicos e para estimativas conceituais em projetos individuais. A equação abaixo mostra esse modelo. (EL-GOHARY; AZIZ, 2013).

$$\textit{Produtividade} = \frac{\textit{Saída}}{\textit{Trabalho + Materiais + Equipamentos}}$$

Para modelos orientados para a atividade, pode-se utilizar as equações abaixo, de acordo com Shehata e El-Gohary (2011):

$$\textit{Produtividade do trabalho} = \frac{\textit{Saída}}{\textit{Custo de mão de obra}}$$

$$\textit{Produtividade do trabalho} = \frac{\textit{Saída}}{\textit{Horas de trabalho}}$$

$$\textit{Produtividade do trabalho} = \frac{\textit{Custo de mão de obra ou Horas de trabalho}}{\textit{Saída}}$$

Para os autores Chaturvedi, Thakkar e Shankar (2018) a produtividade do trabalho na indústria da construção foi estudada por vários pesquisadores na literatura de gestão de operações e engenharia civil. Observou-se que duas medidas de produtividade, a produtividade total dos fatores (TFP) e a produtividade parcial dos fatores (PPF) são comumente utilizadas pela indústria da construção. A TFP é definida como a razão entre a produção total e a entrada total, com os insumos usualmente incluindo mão-de-obra, equipamentos, materiais e recursos de capital. A PPF é calculada dividindo as saídas em uma única ou uma soma do conjunto selecionado de entradas. Também dois conceitos de produtividade, ou seja, produtividade do trabalho (PL) e produtividade multifatorial (MFP), no qual foram inicialmente adotados por estudiosos da indústria da construção. No entanto, PL e MFP são enganosos quando aplicados à medição do desempenho da produtividade de construção no nível industrial, pois o papel dos materiais na melhoria da produtividade é ignorado. A TFP é um fator significativo usado para medir o potencial de desenvolvimento e a competitividade de uma determinada unidade de produção; e a TFP há muito tempo é foco em economia. Em comparação, a TFP foi reconhecida como um índice mais abrangente para medir a eficiência no uso de recursos do que LP ou MFP, e inclui todas as entradas de fator que trabalham juntas para produzir uma saída comum. Assim, a TFP tem sido objeto de um acalorado debate entre os acadêmicos para medir a produtividade de várias indústrias, incluindo a agricultura (CHEN *et al.*, 2017).

De acordo com Sasseron (2016), a produtividade do trabalho é a razão do produto pela quantidade deste insumo que é empregada na produção, e expressa o produto que é utilizada para mensurar o fator trabalho. A produtividade do capital é calculada como a razão do produto por uma estimativa da quantidade de capital físico empregada no processo produtivo.

Nesse contexto, a medida de produtividade leva em conta o efeito de diversos fatores. Essa produtividade é representada pela equação abaixo

$$Y_t = F(X_t, A_t)$$

Onde Y é o produto, X são os fatores de produção e A é a produtividade desses fatores, sendo a Produtividade Total dos Fatores PTF uma medida de A.

O autor Loosemore (2014) também apresentou o conceito de “produtividade multifatorial” (MFP), são medidas a produtividade agregando a mão-de-obra e capital, obtendo assim, uma medida mais completa de produtividade. Porém, a MFP não leva em consideração outras variáveis, como práticas de gestão e ambientes de trabalho na produtividade (LOOSEMORE, 2014).

De forma geral, cada empresa usa seu próprio sistema interno para medir a sua produtividade. Portanto, existem várias definições para a mesma (RAD; KIM, 2018). Essas definições possibilitam tornar qualquer atividade industrial numa atividade passível de melhorar em termos de produtividade. Desliga-se assim o termo de produtividade das linhas de produção e dá-se uma aplicação bastante mais abrangente das suas potencialidades.

O conceito de produtividade é obsoleto, mas ainda se torna relevante, pois ela representa crescimentos em diferentes níveis, como os de sociedade e organização. No entanto, no nível da organização, a produtividade corresponde à melhoria do seu valor e da qualidade dos seus serviços ou produtos (DURDYEV; ISMAIL, 2016).

Entretanto, se faz necessário medir a produtividade do projeto para ter uma análise aprofundada de desempenho. Portanto, ao longo dos anos, pesquisas vem sendo realizadas buscando desenvolver vários métodos e técnicas para a medição de produtividade de construção no local, tendo como exemplos as seguintes técnicas: cronometragem, vídeos de lapso de tempo, questionários, fotografia e vídeo-tape e os métodos de observação direta, pesquisa/entrevista e nível de projeto (DURDYEV; ISMAIL, 2016).

3.2 INDICADORES DE PRODUTIVIDADE

Mani et al. (2017) identificaram a produtividade como o indicador de desempenho mais utilizados para avaliar o sucesso de um projeto de construção. Muitas das operações da indústria da construção civil são através de um intenso trabalho manual e, portanto,

pesquisadores consideram a produtividade do trabalho como sendo um dos melhores indicadores de eficiência produtiva (MANI *et al.*, 2017).

Segundo Martins (2013) os indicadores utilizados na construção civil são denominados pela razão unitária de produção (RUP), no qual a razão entre entradas e saídas resulta da quantidade de homens usados e respectivas horas de trabalho efetuadas por quantidade de serviço executado. Dependendo da quantidade de tempo abrangida pelo indicador adotado ou da tarefa em análise, surgem diferentes tipos de RUP. A tabela 14 apresenta as definições de RUP que foram expostas por Martins (2013) e Ney (2016).

Tabela 14 - Definições de RUP

Autores		
Definições de RUP	Martins (2013)	Ney (2016)
RUP diária	Razão referente aos valores de homem hora e quantidade de serviço executado de um dia de trabalho.	Relativa à produção diária.
RUP cumulativa	Razão aplicada quando a medição abrange um período mais amplo, somando os valores do indicador desde o dia em que se começou a medir a produtividade até ao dia em questão.	Relativa à produção acumulada durante um período de tempo.
RUP cíclica	Razão utilizada quando se pretende um período mais curto que os anteriores; esta razão é aplicada nos casos em que se pretende analisar uma tarefa em específico, como por exemplo a realização de uma alvenaria.	Relativa à produção acumulada durante um ciclo preestabelecido.
RUP potencial	É definida como um valor de RUP diária que tenha traduzido um bom desempenho e que seja possível de alcançar em função dos valores de RUP recolhidos.	Relativa a mediada dos valores de RUP Diária que sejam inferiores aos da RUP Cumulativa.

Fonte: Adaptado pelo próprio Autor (MARTINS, 2013, p.37; NEY, 2016, p.52)

Ney (2016), em sua pesquisa, também apontou outros indicadores de produtividade, conforme tabela 15:

Tabela 15 - Tipos de RUP

RUP	Definição
RUP Oficial	Contabiliza a mão de obra dos trabalhadores diretamente envolvidos nas tarefas.
RUP Direta	Contabiliza além da mão de obra dos trabalhadores, incluindo aqueles que atuam como ajudantes, os quais estão diretamente envolvidos na realização das tarefas
RUP Global	Contabiliza toda a mão de obra envolvida nas tarefas em análise;

Fonte: Adaptado pelo próprio Autor (NEY, 2016, p.52)

Martins (2013) menciona que a RUP diária apesar de dar mais trabalho na coleta dos dados permite obter uma consciencialização dos operários, a RUP cumulativa apesar de atenuar os efeitos de boas e más prestações diárias permite a visualização da tendência da produtividade a longo prazo, a RUP periódica é interessante para a definição de metas a curto prazo e a RUP potencial pode servir para analisar as restantes RUP. Na figura 36 é possível observar o comportamento hipotético de diferentes tipos de RUP.

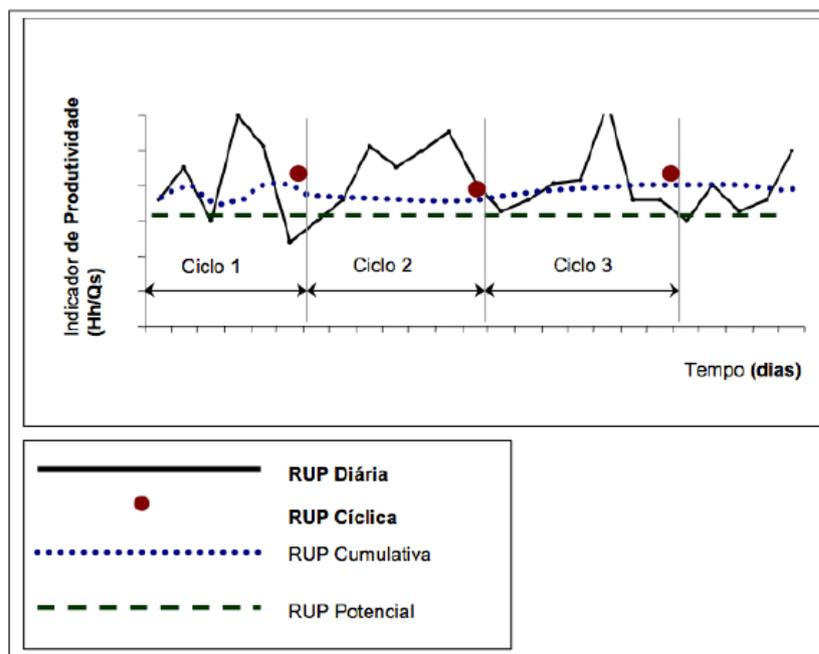


Figura 36 – Comportamento das RUP

Fonte: (MARTINS, 2013, p.38)

Ney (2016), apresentou em sua pesquisa índices gerais e de gestão para avaliação do desempenho do projeto, conforme tabela 16:

Tabela 16- Indicadores gerais

Indicador	Métrica
Prazo	Prazo Real / Prazo Contratual
Preço (US)	Valor Contratual Final / Valor Contratual Inicial
Preço (US)	Preço Total Final / Capacidade da Planta (Barris de líquido a ser processado por dia)
Preço (US)	Preço Total Final / Peso Total da Planta (t)
Produtividade Total	H.h. Total / Peso Total Montado (t)
Desempenho Suprimento	H.h. de Suprimento / No. de Ordem de Compra
Desempenho no Recebimento de Equipamentos	Prazos Reais / Prazos Iniciais Previstos
Gerenciamento / Supervisão	H.h. Indireto / H.h Direto
Aferição da Qualidade	H.h. Total de Refazimento / H.h Total Direto da Obra
Desempenho da Qualidade	H.h. Total da Qualidade / H.h Total Direto
Desempenho do Controle da Qualidade	H.h. Total de Controle da Qualidade / H.h Total Direto de construção e montagem
Indicador de Comissionamento	H.h. Comissionamento / H.h Total Direto de Construção e Montagem

Fonte: (NEY, 2016, p.51)

O mesmo autor apresentou outros importantes indicadores relativos ao desempenho da engenharia de projeto, na tabela 17:

Tabela 17 - Indicadores relativos

Indicador	Métrica
Projeto Básico	H.h de Projeto / Documento Emitido AFC (Desenhos finais aprovados e fornecidos para construção) Equivalente a A1 (formato folha)
Projeto de Detalhamento	H.h de Projeto / Documento Emitido AFC (Desenhos finais aprovados e fornecidos para construção) Equivalente a A1 (formato folha)
Estrutura	H.h de Projeto / Tonelagem de Estrutura Projetada
Tubulação	H.h de Projeto / Tonelagem de Tubulação Projetada
Elétrica	H.h de Projeto / Metros de Cabos Projetados
Instrumentação	H.h de Projeto / No de Instrumentos
Mecânica	H.h de Projeto / No de Equipamentos

Fonte: (NEY, 2016, p.51)

O mesmo autor, Ney (2016), menciona que para a construção civil brasileira, embora também se utilize os indicadores de RUP, Razão Unitária da Produção, existe uma cultura de

avaliação mais global, global por metro quadrado de construção. O detalhamento orçamentário da produção civil nacional se dá por meio da composição de preços unitários, por quanto, além dos homens-horas são determinados todos os outros recursos relativos a uma unidade de medida em nível de tarefa. De acordo com Ney (2016), destacam-se no Brasil:

- a) SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, da Caixa Econômica Federal (CEF);
- b) TCPO – Tabela de Composições e Preços para Orçamentos, da Editora PINI;
- c) SICRO2 – Sistema de Custos Rodoviários, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

3.3 FATORES DE IMPACTO NA PRODUTIVIDADE

De acordo com Chen *et al.*, (2017), os fatores que influenciam a produtividade da indústria de construção são relativamente segmentados para diferentes objetivos e perspectivas de pesquisa, pois eles raramente são constantes, variando de país para país, e de projeto para projeto. A tabela 18 indica os fatores influenciadores da indústria da construção civil, de acordo com a pesquisa de Chen *et al.*, (2017).

Tabela 18 - Fatores que influenciam a produtividade

Fatores de influência
Relação entre capital e trabalho, mix de produtos de construção, participação corporativa na construção de contratos, qualidade da mão de obra, nova tecnologia de construção.
Economias de escala, alocação de recursos, avanços no conhecimento.
Fatores tecnológicos relacionados principalmente desenho do projeto, fatores administrativos relacionados com a gestão e construção do projeto Fatores tecnológicos relacionados principalmente desenho do projeto, fatores administrativos relacionados com a gestão e construção do projeto.
Intensidade da mão-de-obra qualificada, número médio de empregados por estabelecimento, razão de capitalização, percentagem de sindicatos, idade média dos trabalhadores, diferença entre o deflator oficial e o novo deflator.
Controle de custos, programação, práticas de design, treinamento de mão de obra, controle de qualidade.
Processo tecnológico, qualidade do trabalho, qualidade de materiais, economias de escala, regulamentações governamentais, fatores cíclicos, acidentes de construção.
Produtividade média do trabalho.

Melhor prática e cultura lideradas pela indústria, recursos financeiros e investidor confiança, habilidades humanas e uma cultura de transparência, políticas governamentais e estratégias, pesquisa e desenvolvimento para construção, uma construção autossuficiente cultura, apoio institucional, apoio atitudes de agências de ajuda.

Planejamento e programação.

Competências econômicas (ou seja, valor de marca, capital humano específico da empresa e estrutura organizacional), propriedade da inovação.

Materiais / ferramentas, tecnologia de construção e método, planejamento, sistema de supervisão, retrabalhos, clima, condição do local.

Inovações tecnológicas, capital de trabalho, nível econômico.

Fonte: Adaptado pelo próprio Autor (CHEN *et al.*, 2017, p.3)

De forma geral, medir a produtividade agregada no setor de construção civil é algo difícil, pois envolve diferentes tipos de subprodutos e requer implementação variada de diferentes atividades: construções residenciais, rodovias, esgotos e prédios de fábricas, que exigem a utilização de diferentes tecnologias e tipo de implementação. Ainda, as entradas e saídas são afetados por diferentes índices de custo ao longo do tempo, o que torna estudos longitudinal difícil. Portanto, a identificação dos fatores com impacto na produtividade da construção é crucial. Assim, deve-se avaliar os fatores que influenciam positivamente e adotá-los, eliminando os fatores que influenciam negativamente na produtividade da construção. Dessa maneira, o processo de construção pode requerer a coordenação das várias etapas, desde a iniciação do projeto, através do projeto, aprovação do planejamento e construção, construção e inspeções, aprovação de ocupação e operação e manutenção. Entretanto, a burocracia na etapa de aprovação é um problema para o setor da indústria da construção civil, pois pode ocasionar interrupção ou atraso nos processos (DURDYEV; ISMAIL, 2016).

Logo, para obter um padrão de produtividade é importante empregar ferramenta de tecnologia da informação e comunicação, a fim de padronizar as informações e, sobretudo, fluir e mitigar as barreiras que levam à desconexão e fragmentação. Desta maneira, a padronização diminuirá a intervenção humana, que em última instância, ajuda a garantir que os erros humanos não prejudiquem a eficiência. Dessa forma, é reduzido o desperdício dos recursos (tempo e dinheiro) e aprimorada a produtividade da construção em todos os níveis (DURDYEV; ISMAIL, 2016).

Segundo Sonmez e Rowings (1998), em vários estudos entre 1969 e 1980, foi observado o efeito negativo das horas extras programadas na produtividade. Também em estudo mais recente de horas extras, foram observadas perdas médias de produtividade entre 10 e 15% quando se é adotado as horas extras, portanto concluíram que, que para projetos

atrasados, horas extras as perdas podem exceder 15%, principalmente devido a dificuldades crescentes no fornecimento de recursos.

De acordo com Woo (2016), os efeitos negativos ou consequências indesejáveis de horas extras foram reconhecidos e mencionados em várias pesquisas. Quando um projeto é colocado com horas extras programadas, se tem o custo adicional do salário de prêmio; logo, acarreta-se um aumento no custo total do projeto, porque é um requisito do governo para pagar uma taxa, como tempo e meio ou dobro do tempo. Ainda, o custo extra do trabalho e a baixa eficiência da produtividade do trabalho resultam na fadiga física e ineficiência de gerenciamento dados observados em relatados. Portanto, a perda de motivação causada por pobre atitude mental resulta na baixa eficiência e aumenta absentismo. Além disso, as horas extras atraem menos trabalhadores proficientes ou pouco qualificados, o que pode aumentar os acidentes na hora da produtividade (WOO, 2016).

Todos os as partes (mesmo os trabalhadores) têm de colaborar em termos da melhoria das produtividades de construção. Isso se deve ao fato de que a produtividade da construção as restrições não estão relacionadas apenas a uma das partes. Está, no entanto, relacionado ao trabalho; portanto, alguns dos autores preferem usar a produtividade do trabalho em vez da construção produtividade, que é devido à natureza intensiva de trabalho da indústria e significativa efeito do trabalho em todo o processo de aquisição (DURDYEV; ISMAIL, 2016, p.457).

Também um conjunto único de fatores que impactam na produtividade da construção, é a ocorrência de greves dos trabalhadores. Pois, uma pesquisa realizada no setor de produtividade na África do Sul, mostra que a indústria da construção contribuiu com 13,5% dos dias de trabalho perdidos no mercado sul-africano, devido a greves de trabalhadores, de acordo com o relatório anual de ação industrial. Outrossim, a falta de profissionais qualificados aumenta ainda mais falhas na produtividade. A escassez de habilidades de engenharia também dificulta o crescimento da África do Sul (BIERMAN; MARNEWICK; PRETORIUS, 2016).

Também, o homem-hora por unidade de trabalho colocada é chamada de taxa unitária. As quantidades de trabalho colocado ou produzido durante um período de tempo especificado dividido horas-homem durante o mesmo período de tempo, também é definir produtividade. O intervalo de tempo comumente usado é diário, semanal, mensal ou toda a duração do projeto. Além do que, além do mais, eficiência é usada para descrever a perda relativa de produtividade em comparação com algum período de referência (WOO, 2016, p.2615).

O clima afeta diretamente a produtividade dos trabalhadores da construção civil, tanto fisiológica quanto psicologicamente. Portanto, o efeito do clima na produtividade é, um tópico importante e vem sendo motivos de pesquisas há mais de cinquenta anos. O efeito das altas velocidades de vento pode afetar os meios de construção (por exemplo, uso limitado de

guindastes), chuvas, neve e gelo também terá um efeito sobre a produtividade (IBBS; SUN, 2017).

De acordo com Sonmez e Rowings (1998), a National Electrical Contractors Association (NECA) conduziu um experimento buscando quantificar os efeitos da umidade e temperatura no processo de produtividade do trabalho. Os resultados obtidos sugeriram que a produtividade diminuiu em níveis de temperatura acima de 27 ° C e abaixo 4 ° C, e em taxas de umidade relativa acima de 80%, especialmente em altos níveis de temperatura (SONMEZ; ROWINGS, 1998). Os autores Ibbs e Sun (2017) mencionaram também em vossas pesquisas que a umidade tem efeito significativo sobre a produtividade, mas seu efeito é menor do que temperatura. Isso se dá, sobretudo, porque a temperatura e a umidade podem ter um efeito interativo na produtividade, combinando temperatura e o efeito da umidade sobre a produtividade.

Sonmez e Rowings (1998) citam que foi realizada uma pesquisa, referente a produtividade dos pedreiros, a duração desse estudo se deu durante um período de nove meses na construção de 283 paredes de teste sob condições regulares. Os fatores avaliados foram a temperatura e umidade. Nessa pesquisa pôde-se constatar que o maior nível de produtividade foi observado a 24°C e umidade relativa de 60%, conforme figura 37.

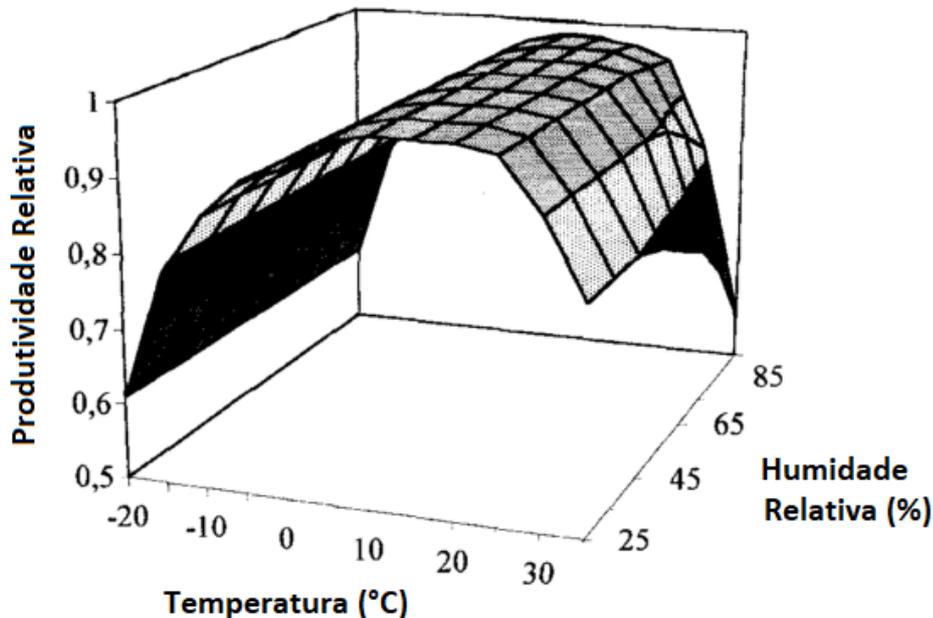


Figura 37 - Impacto da temperatura e Umidade na Produtividade

Fonte: Adaptado pelo próprio Autor (SONMEZ; ROWINGS, 1998, p.498)

O trabalho pesado e manual é mais cansativo, e obras com essas atividades sofrem degradação da produtividade mais rapidamente do que os trabalhadores trabalho mais leve e menos desgastante. Além disso, as produtividades de pico são provavelmente afetadas pela localização regional de um trabalhador. Conseqüentemente, o clima adverso é considerado um dos principais fatores que causam atraso em projetos de construção civil (IBBS; SUN, 2017). Nesse sentido, três tipos de casos que estão relacionados perda de produtividade relacionados a clima segundo os mesmos autores são:

1. Intempéries inesperadas que um contratante razoável não pode prever em seu plano inicial e estimativa. Não é a mera presença de mau tempo, por si só, é a presença de mau tempo que não poderia ter sido razoavelmente previsto. Clima desfavorável normalmente inclui clima quente, tempo frio, e excesso de chuva, vento e inundação. Uma reivindicação com base em mau tempo inesperado pode ser rejeitado se o clima é considerado não excepcionalmente severo. Além disso, os contratos geralmente suportam extensões de tempo causadas por clima severo, mas, em alguns casos, não preveem ajustes de custo para tais atrasos.
2. O cronograma do projeto foi movido para tempo de clima desfavorável por causa de mudanças. Os contratados precisam mostrar que não comprometer-se com o desempenho do contrato em condições desfavoráveis razões próprias. Outro possível motivo de rejeição é que o atraso empurrou tanto ou até mais trabalho em clima mais ameno;
3. Mudança inesperada do ambiente de trabalho. Um exemplo típico de este tipo é quando a construção de janelas e calor temporário fora inesperadamente não fornecido durante a construção de inverno. (IBBS; SUN, 2017, p.1)

Outro fator que impacta na produção são os conflitos, pois a falta de comunicação entre a equipe de gerenciamento interno, o gerente de projeto e empreiteiro geral para o subcontratante ou um arquiteto, afeta diretamente o processo de produtividade. Portanto, pode-se dizer que a falta de comunicação é designada como a questão central que contribuiu para o conflito de relacionamento, pois os participantes articularam forte opiniões e razões para identificar isso como o mais relevante (VAUX; KIRK, 2018).

Vaux e Kirk (2018) citam que a ausência de comunicação leva ao aumento do conflito, o que acarreta ainda menos comunicação, e assim por diante. Este ciclo resulta o impacto negativo sobre a equipe de gerenciamento quanto ao projeto, o que resultará em um ciclo de comunicação deficiente. Portanto, os conflitos podem afetar os principais colaboradores e principais atores, desempenho e produtividade do projeto, isto é, postergando cronograma e, impactando no orçamento e no lucro, conforme figura 38.

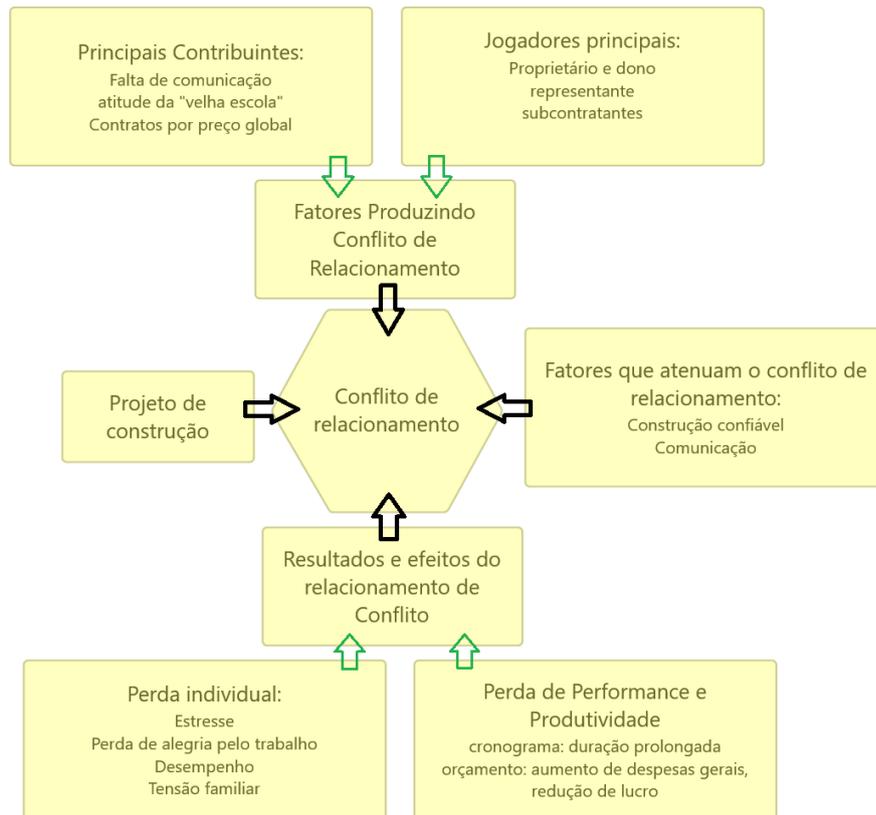


Figura 38 - Fluxograma de fatores de produtividade relacionado a conflito

Fonte: Adaptado pelo próprio Autor (VAUX; KIRK, 2018, p.4)

Ainda, quando há cooperação mínima e má atitude entre os subcontratados, o projeto pode ser afetado, pois pode-se ter uma extensão do cronograma e um impacto no orçamento como resultado do relacionamento conflito. Portanto, o impacto no orçamento resulta na falta de pagamento, extensão do cronograma, má coordenação entre o empreiteiro geral e os subcontratantes, e perda de cooperação na revisão da construção (VAUX; KIRK, 2018).

Estudos anteriores mencionam que a produtividade pode melhorar através estabelecimento de metas mensuráveis, por estreita supervisão e por análise científica precisa das tarefas. Em contrapartida, outros pesquisadores citam que a longo prazo isso era contraproducente e insustentável, levando ao surgimento de mais teorias de gestão centradas no empregado através do trabalho (LOOSEMORE, 2014).

De acordo com Loosemore (2014), as principais causas da perda de produtividade são:

- Interrupções;
- Intensidade da força de trabalho;
- Aumento não planejado da força de trabalho;
- Trabalhar horas extras contínuas;

- Gerenciamento deficiente do site;
- Fragmentação;
- Sem foco produtividade;
- Treinamento de baixa produtividade;
- Falta de planejamento detalhado;
- Contratual conflito;
- Design pobre;
- Falta de compromisso com a melhoria contínua;
- Falta de confiança;
- Consulta pobre da força de trabalho;
- A produtividade não é recompensada e;
- Dificuldades em medir e monitorar a produtividade.

O autores Hickson e Ellis (2014) elaboraram um questionário com os principais fatores que afetam a produtividade em Trinidad e Tobago. Este questionário foi administrado face a face. Por isso, os inquiridos foram convidados a marcar cada fator usando um nível de efeito variando de 1 a 4 (com 1 representando o menor efeito e 4, o maior efeito sobre produtividade). Os escores foram analisados usando o Relativo Índice de Importância (RII) (HICKSON; ELLIS, 2014).

$$\text{RII (\%)} = \frac{5(n5) + 4(n4) + 3(n3) + 2(n2) + 1}{5(n1 + n2 + n3 + n4 + n5)} \times 100$$

Este estudo examinou os fatores que afetam o trabalho produtividade e classificou 42 fatores predefinidos dividido em quatro (4) categorias, nomeadamente: 1) Gestão; 2) Tecnológico; 3) Humanos / Trabalho, e 4) Externo. O ranking pode ser resumido conforme a tabela 19:

Tabela 29 - Fatores que impactam Trinidad e Tobago

	Gestão	Tecnológico	Humanos/trabalho	Externo
1)	Falta de supervisão do trabalho	Lentidão para solucionar problemas apresentados pelos colaboradores	Escassez de mão-de-obra experiente	Chuvas
2)	Programação e expectativa irrealistas de trabalho desempenho	Retrabalho	Habilidade do trabalho	Altas temperaturas
3)	Falta de liderança do gerente de construção	Alteração de projeto durante execução	Motivação do trabalho	
4)	Atraso de pagamento	Especificações técnicas confusas	Fadiga física	
5)	Falta de clareza nas instruções	Incompatibilização de projetos (Engenharia x Arquitetura)		

Fonte: Adaptado pelo Autor (HICKSON; ELLIS, 2014, p.7).

De acordo com Rad e Kim (2018), Os cinco fatores principais que determinaram a eficiência da produtividade dos operários iranianos na construção civil são: Escassez de materiais; Condições meteorológicas e do local; Avaria do equipamento; Desenhar deficiências / alterar pedidos; e Falta de ferramentas e equipamentos inadequados. Cinco dos fatores de motivação mais importantes para os operários da construção iraniana estão relacionados ao pagamento, incentivos e recompensas financeiras, pagamento no prazo, boas instalações de trabalho e segurança. (RAD; KIM, 2018).

De acordo com El-Gohary e Aziz (2013) é preciso identificar e influência dos principais fatores que afetam a produtividade da mão-de-obra na construção e em sua pesquisa foi possível classificar os fatores que afetam a produtividade do trabalho na construção no Egito em três categorias principais, são elas: (1) fatores relacionados ao homem / trabalho; (2) fatores relacionados à indústria; e (3) fatores relacionados à gestão. (EL-GOHARY; AZIZ, 2013).

Na pesquisa de Yi e Chan (2014), pode-se observar alguns fatores que impactam na produtividade da indústria da construção. São eles: Gerenciamento (planejamento adequado, programação realista, coordenação adequada, e controle adequado); Trabalho (acordos sindicais, práticas de trabalho restritivas, absenteísmo, volume de negócios, atrasos, disponibilidade, nível de artesãos especializados e uso de equipamentos); Governo (regulamentos, características sociais, regras ambientais, clima e ramificações políticas);

Contratos (fixos preço, custo unitário); características do proprietário; e financiamento (YI; CHAN, 2014).

Além dos fatores variarem de tarefa para tarefa. Outros fatores também devem ser levados em consideração: A quantidade de trabalho; Quantidade de trabalhadores; A metodologia construtiva; Condições ambientais; Ciclos de aprendizagem. (YI; CHAN, 2014).

Os autores Durdyev, Ismail e Kandymov (2018), também realizaram um pesquisa através de questionário e os principais fatores que prejudicam a produtividade do trabalho da construção civil na Malásia são: 1º Gestão e controle; 2º trabalhadores; 3º Externo; 4º Projeto; 5º Finança; 6º Material e equipamento; (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018).

3.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA E MONITORAÇÃO DA PRODUTIVIDADE

De acordo com Martins (2013), o controle da produtividade pode ser realizado de duas maneiras: Método direto ou método indireto. A tabela 20 apresenta esses métodos.

Tabela 20 - Definição dos métodos diretos e indiretos

Método Direto	Método Indireto
Esse método passa pela clara definição do produto a ser construído, racionalizando um planejamento equilibrado e controlando todo o processo até à sua conclusão. Ao nível da mão de obra, o controle direto da produtividade associa-se à implementação de procedimentos específicos de controle onde o “controlador” e o “controlado” tem plena consciência de que ambos estão a realizar essa tarefa. Esse método é pouco usado por implicar ações muito “intrusivas” ao nível da observação dos supervisores em ação. Implica metodologias mais “autoritárias” e forçada que se demonstraram ser relativamente pouco eficientes.	O controle indireto da produtividade assume uma filosofia mais ausente do processo construtivo. As suas medidas aplicam-se com vista a fornecer uma consciencialização, feedback de performance e motivação aos donos de obra. Um exemplo deste tipo de controle é a observação dos fatores que impactam na produtividade. Neste tipo de controle o processo passa por analisar cuidadosamente o processo construtivo tendo em conta os fatores que tem grande influência na variação da sua produtividade, podendo no final apresentar medidas para a mitigação dos aspetos negativos que foram observados

Fonte: Adaptado pelo autor (MARTINS, 2013, p.32)

3.4.1 Benchmarking and Metrics (BM&M)

No setor construtivo, a produtividade se constitui como um fator primordial nas atividades gerais. Em vista dessa conjuntura, artigos de controle do rendimento produtivo das indústrias da construção são desenvolvidos constantemente (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017). Isso se dá porque, a produtividade da construção está diretamente ligada ao preço dos projetos

de construção. Portanto, a baixa produtividade na construção em um país pode impactar negativamente a robustez de sua economia (NASIR *et al.*, 2012). Dentre os artigos se destaca o modelo Benchmarking and Metrics (BM & M), que segue o ciclo de melhoria contínua, amplamente aceito dos processos de gerenciamento de qualidade total (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017).

Para melhorar um processo produtivo, a ideia é medi-lo. Portanto, foram implementados os programas de benchmarking, que foram implantados com sucesso no setor de manufatura; porém só nos meados dos anos 90 esses programas foram difundidos na indústria da construção. Embora benchmarking em construção não seja um processo fácil e direto devido à natureza do setor - que reluta em compartilhar alguns tipos de dados e devido à significativa flutuação de produtividade – o processo foi aplicado à construção após seu sucesso na indústria de manufaturados nos Estados Unidos da América. Nesse contexto, se expandiu para o Reino Unido, Austrália, Brasil, Canadá e Chile (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017). Nesse contexto, atualmente eles têm benchmarking e métricas programas para medir e melhorar o desempenho do projeto (NASIR *et al.*, 2012).

O modelo proposto pelo autor Zhang (2014), sintetizado pela figura 39, introduz um conjunto de funções sistemáticas para revisar as práticas de gerenciamento de projetos, os fatores ambientais da construção e o desempenho da produtividade da mão-de-obra artesanal. Com base nas revisões, o modelo também apresenta funções para orientar o planejamento de melhorias das práticas (ZHANG, 2014).

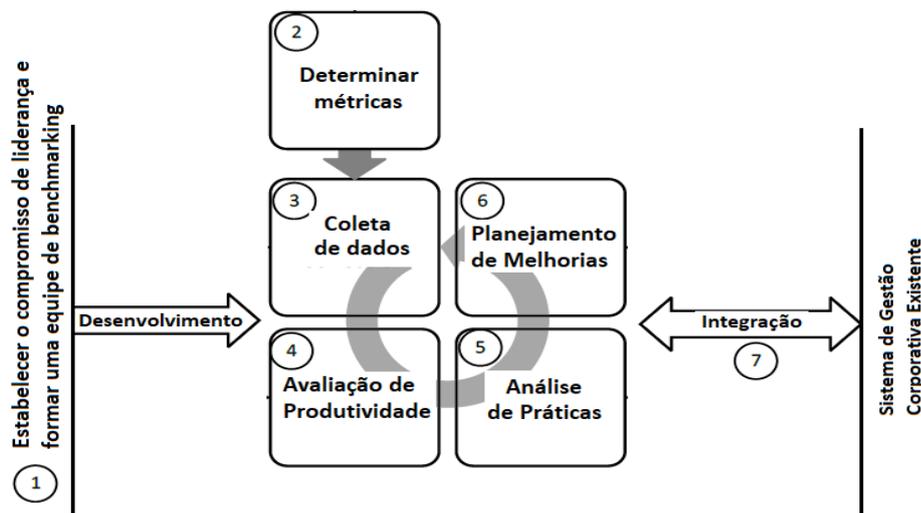


Figura 39 - Modelo benchmarking

Fonte: Adaptado pelo autor (ZHANG, 2014, p.98)

Ao realizar o benchmarking da produtividade da mão-de-obra de construção, pode-se adotar os indicadores chaves de desempenho (KPI) da tabela 21:

Tabela 21- Indicadores chaves de desempenho (KPI)

Indicadores Chaves de desempenho	Descrição
Variabilidade de produtividade	A alta variabilidade é reconhecida como um indicador do desempenho inferior em muitas operações de construção. A alta variabilidade de produtividade é um forte indicador do baixo desempenho do trabalho.
Produtividade de linha de base	É a melhor produtividade que um empreiteiro pode alcançar. É uma relação entre a complexidade do projeto e da habilidade das pessoas envolvidas nas tarefas.
Índice de Resíduos do Projeto	A produtividade real da linha de base comparada com a produtividade da linha de base esperada fornece um parâmetro conveniente a partir do qual os desvios podem ser medidos e é um indicador de desperdício. O índice de desperdício do projeto (PWI) é uma medida sem unidade da quantidade de resíduos trabalhistas associados a uma atividade / projeto. Um número menor é melhor.

Fonte: Adaptado pelo autor (THOMAS, 2012, p.3)

Destarte, tendo em vista mensurar e avaliar a produtividade na construção, que se configura como uma questão complexa, o artigo dos autores Zhang, Nasir e Haas (2017) apresenta o desenvolvimento de um modelo interno de Benchmarking para empresas de construção industrial para ajudá-las a entender e implementar mecanismos para melhorar continuamente a produtividade da construção (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017).

Por intermédio do Benchmarking foram determinadas variadas sugestões de ações práticas à empresa parceira, inclusive afirmar que as práticas relacionadas aos sistemas de gerenciamento de materiais precisam de melhorias. Nesse contexto, concluiu-se que os métodos do sistema são eficazes para apoiar a medição adequada da produtividade da construção (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017).

Por fim, embora tenham sido obtidos resultados positivos no estudo de caso, a obra recomenda que a avaliação da produtividade seja agrupada por tipos de projetos, uma vez que projetos do mesmo tipo são geralmente considerados em condições similares em relação à complexidade e ao ambiente do local. Ademais, observa-se que comparar a produtividade dentro da população do mesmo tipo de projetos, apresenta mais confiança do que comparar dentro de uma ampla gama de produtividade para todos os tipos de projetos. Além disso, a

coleta contínua de dados durante um período de tempo grande pode ser muito valiosa, fornecendo um suporte sólido aos dados em uma empresa e validando uma forma de melhoria contínua da produtividade, por meio do uso interno da BM & M (ZHANG; NASIR; HAAS, 2017)

3.4.2 Improved Baseline Method

O método de monitoramento Baseline tem sido amplamente aceito para quantificar a perda de produtividade do trabalho. O método é baseado em técnicas estatísticas básicas e tem o objetivo de determinar uma linha de base que represente o desempenho operacional normal do contratado, superando assim muitas das fraquezas dos métodos existentes. O método evita o tamanho arbitrário da amostra de base e a possibilidade de múltiplas soluções concorrentes nos métodos existentes (ZHAO; DUNGAN, 2014).

No método proposto pelos autores Zhao e Dungan (2014), o princípio básico do cálculo da perda de produtividade do trabalho ainda é adotado. O subconjunto da linha de base é então definido como a seção do trabalho em que a produtividade reflete o desempenho operacional normal do contratado, que é atingível e sustentado, embora não necessariamente contínuo no tempo. A abordagem proposta para determinar a produtividade da linha de base compreende duas etapas, conforme tabela 22:

Tabela 22 - Etapas da Baseline

1° etapa	2° Etapa
Separa os dados no grupo de boa produtividade e no grupo de baixa produtividade usando a produtividade média geral	Determine o subconjunto de linha de base do grupo de boa produtividade usando técnicas estatísticas, como um gráfico de controle de processo, e depois a produtividade da linha de base é calculada como a produtividade média do subconjunto da linha de base.

Fonte: Adaptado pelo autor (ZHAO; DUNGAN, 2014, p.2)

A primeira etapa para o método é calcular a produtividade média geral e, em seguida, atribuir todos os pontos de dados dos períodos ou seções de relatórios com uma produtividade melhor que a média geral para o grupo de boa produtividade. Os dados apontam para uma produtividade que é pior do que a média geral, constituindo o grupo de baixa produtividade (ZHAO; DUNGAN, 2014).

Embora a produtividade média do grupo da boa produtividade seja uma boa aproximação para a produtividade do Baseline, esse grupo ainda pode incluir pontos de dados extremos que não representam o processo operacional normal. Alguns deles podem ser afetados pelas interrupções atribuíveis, e outros podem ser causados por erros administrativos, atrasos de atualização de dados ou pela inclusão de trabalhos diferentes em alguns pontos de dados. Assim, uma técnica de gráfico de controle é aplicada ao grupo para eliminar os pontos extremos. Depois que os pontos extremos são eliminados, os demais pontos de dados que representariam o processo operacional normal ou quase normal do contratado constituem o subconjunto do Baseline (ZHAO; DUNGAN, 2014).

Os autores Zhao e Dungan (2014), também compararam o modelo proposto com alguns métodos e dessa forma, identificou-se as vantagens e fraquezas dos métodos existentes. O método do Baseline aprimorado procura superar os pontos fracos de outros métodos. Esse método proposto é mais objetivo do que outros métodos, porque um subconjunto de linha de base exclusivo é selecionado usando técnicas estatísticas básicas e imparciais. (ZHAO; DUNGAN, 2014).

Portanto, Baseline aprimorado é um método exclusivo e que contribui para o conhecimento e fornece aos profissionais e engenheiros de construção com uma abordagem objetiva para determinar linha de base de produtividade para resolver os problemas de perda de produtividade do trabalho. (ZHAO; DUNGAN, 2014).

3.4.3 O modelo SD-DES híbrido

O modelo SD-DES híbrido foi proposto pelos autores Moradi, Nasirzadeh e Golkhoo (2017) e implementado em um projeto de construção real para simular a produtividade do trabalho considerando os efeitos de ambos os contextos e operacional em fatores de influência. A figura 40 representa o modelo SD (System Dynamics) de produtividade do trabalho (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHOO, 2017).

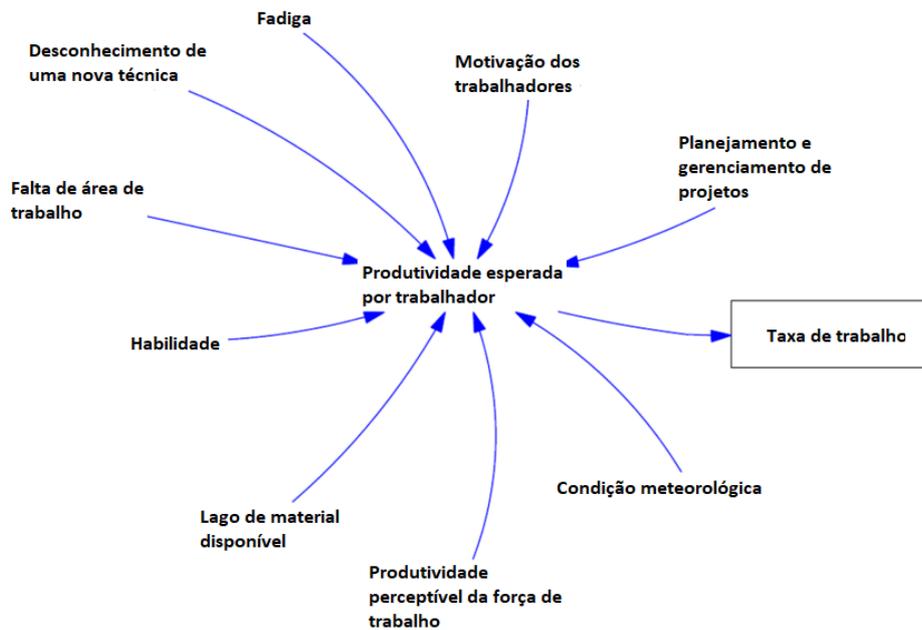


Figura 40 - Modelo SD

Fonte: Adaptado pelo Autor (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHOO, 2017, p. 2757)

Como mostrado na figura 40, a produtividade do trabalho é afetada por vários fatores de influência. A produtividade do trabalho está influenciada por variáveis operacionais (variáveis discretas) além das variáveis de contexto. Essas variáveis operacionais são modeladas na parte DES (Discrete Event Simulation) do modelo híbrido proposto. A figura 41 representa o modelo DES do processo de concretagem. O processo de concretagem consiste em três operações, incluindo trabalhos de lançamento, vibração e acabamento (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHOO, 2017).

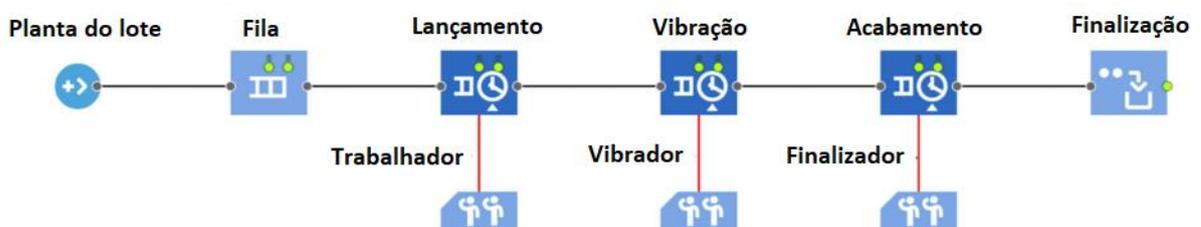


Figura 41 - Modelo DES para concretagem

Fonte: Adaptado pelo Autor (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHOO, 2017, p. 2757)

Para desenvolver o modelo DES do processo de concretagem, os dados necessários foram coletados a partir de um projeto real de concretagem e as distribuições de probabilidade

da duração das operações foram determinadas. Finalmente, a duração do processo, utilização de recursos, trabalho em processo e volume de concretagem (trabalho realizado) foram calculados pelo modelo DES (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017).

O modelo híbrido de produtividade foi construído a partir do SD e DES. Para este propósito, os pontos de interação e o mecanismo de troca de dados devem ser definidos. A tabela 23 mostra os pontos de interação entre os modelos SD e DES. Variáveis como taxa de trabalho são calculadas no modelo SD e atuam como entradas para a parte DES do modelo híbrido. Por outro lado, variáveis como Trabalho feito e número de trabalhadores são determinadas no modelo DES e atuam como entradas para a parte SD do modelo híbrido, conforme tabela 23 . (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017).

Tabela 23 - Pontos de iterações dos modelos

SD para DES	DES para SD
Taxa de trabalho	Trabalho feito
	Número de trabalhadores

Fonte: Adaptado pelo Autor (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017, p. 2758)

No modelo SD, a produtividade é simulada como uma variável contínua considerando todo o contexto fatores de influência. O valor simulado da produtividade do trabalho afeta a taxa de trabalho, que atua como uma entrada para o modelo DES. No modelo DES, a duração das operações é determinada com base na taxa de realização de trabalho (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017).

Foi realizada uma análise de sensibilidade (tabela 24) para avaliar o efeito de diferentes fatores de influência na produtividade do trabalho. Os resultados da análise de sensibilidade revelaram que a produtividade do trabalho foi afetada por diferentes fatores de construção, como área de trabalho, temperatura do tempo e habilidade. O método híbrido SD-DES proposto pode apresentar uma abordagem nova e robusta para simular o valor da produtividade do trabalho, uma vez que os efeitos do contexto e do nível operacional fatores de influência são levados em conta. (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHO, 2017).

Tabela 24 - Comparação entre os valores simulados

	DES	SD-DES HÍBRIDO	Caso Real
Produtividade da operação de concretagem (m ³ em jornada de trabalho de 8 horas)	154	147	145

Fonte: Adaptado pelo Autor (MORADI; NASIRZADEH; GOLKHOON, 2017, p.2759).

Dessa forma, observa-se que através da análise de sensibilidade que o modelo híbrido SD-DES mostrou ser mais eficiente do que o DES e diante do exposto, aperfeiçoa-se o estudo da produtividade para o mais próximo da realidade da obra.

3.4.4 Índice de Malmquist

O índice de Malmquist é um método não paramétrico que permite que os pesquisadores avaliem mudanças da produtividade. Logo, esse método foi adotado como uma tecnologia de decomposição para estimar a produtividade do consumo (MA; LIU, 2018).

O modelo de referência considera componentes endógenos (internos) e exógenos (externos). Os fatores internos são: entrada de capital e trabalho. Os fatores externos podem ser: nível de tecnologia em um determinado período (MA; LIU, 2018).

Os autores Ma e Liu (2018), defenderam uma decomposição de quatro componentes de mudanças de produtividade: mudanças na tecnologia, mudanças na utilização da tecnologia, mudanças na relação capital-trabalho e mudanças na capacidade de produção. O modelo de correção de erros (ECM) é implementado para especificar o modelo de decomposição dos quatro componentes. Além disso, o método de regressão periódica em painel foi utilizado para estimar o modelo e identificar os efeitos dos componentes nas mudanças temporais na produtividade do trabalho de construção em cada período observado (MA; LIU, 2018).

Na figura 42, observa-se o esboço da pesquisa realizada por Ma e Liu (2018).

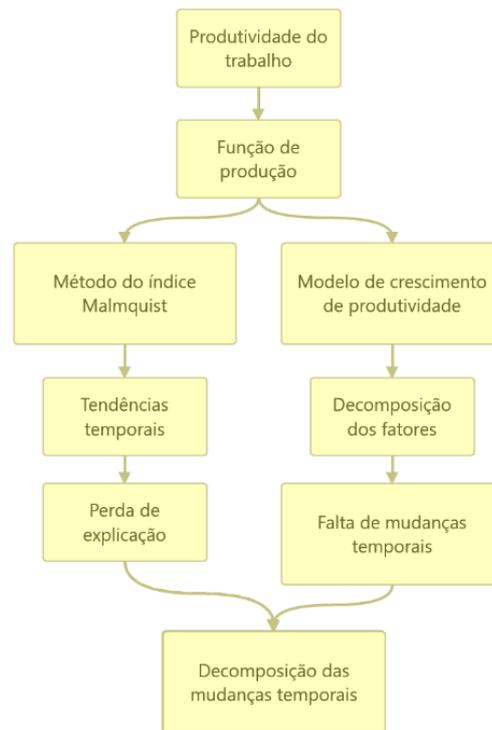


Figura 42 - Esboço do índice de Malmquist

Fonte: Adaptado pelo Autor (MA; LIU, 2018, p.2)

3.4.5 DEA (Análise por Envoltória de Dados, em português)

Outro método difundido no monitoramento é o DEA (Análise por Envoltória de Dados, em português). Esse artifício, por sua vez, consiste em uma forma de programação linear, que estipula a eficiência organizacional aferindo a proporção do total de insumos empregados em relação ao quantitativo produzido para cada organização ou setor (KAPELKO; ABBOTT, 2017). Ou seja, o crescimento da produtividade é medido a partir de uma perspectiva multidimensional usando um Índice Malmquist baseado em DEA, levando em conta mais insumos do que apenas trabalho.

Alguns autores indicam que para obter uma interpretação econômica significativa de todos os componentes da transformação de produtividade, seria premente assumir que o VRS (retornos variáveis à escala) é a técnica de referência no cálculo da composição de mudança tecnológica. Para tal, eles decompueram o componente de mudança tecnológica em mudança tecnológica sob VRS (a chamada mudança tecnologicamente pura), e a medida residual da mudança de escala tecnológica (KAPELKO; ABBOTT, 2017).

O monitoramento através da coleta de dados por tecnologias automatizadas, pode-se comparar que a eficiência computacional de dois algoritmos, no qual mostrou que o algoritmo

HTN é mais computacionalmente eficiente comparado ao algoritmo GraphPlan com um aumento número de fontes de dados. No entanto, o algoritmo GraphPlan pode encontrar mais planos de fusão de dados alternativos em comparação com a HTNalgoritmo (PRADHAN; AKINCI, 2012).

A mudança de produtividade é estimada pela criação de um índice bilateral usando análise de envoltória de dados, complementada com bootstrapping. Os resultados mostraram que as empresas espanholas em construção civil experimentaram uma queda na produtividade devido a um declínio nas eficiências técnicas e de escala, apesar das melhorias na tecnologia (KAPELKO; ABBOTT, 2017). Nesse sentido, Kapelko e Abbott (2017) contribuíram com a comunidade acadêmica por serem os primeiros a analisar o impacto de flutuações nos ciclos de negócios causados pela crise econômica de 2008 sobre o crescimento da produtividade de empresas de construção representando três setores de construção e medindo o crescimento da produtividade sob uma perspectiva multidimensional (KAPELKO; ABBOTT, 2017).

Agarwal e Mehrotra (2020) também usaram a técnica Data Envelopment (DEA) como uma ferramenta para estimar, monitorar a produtividade e para comparar o desempenho entre algumas das principais empresas de varejo da Índia. O estudo teve como objetivo mostrar o desempenho do processo produtivo e identificar os possíveis motivos para as ineficiências detectadas.

3.4.6 Simulação baseada em Fuzzy-Monte Carlo

A simulação Fuzzy-Monte Carlo usa uma combinação de teoria de probabilidade e teoria de conjunto Fuzzy para lidar com a incerteza aleatória e a incerteza subjetiva na modelagem de construção. Dessa forma, Raoufi e Fayek (2020) desenvolveram uma metodologia baseada nos Métodos Fuzzy e Monte Carlo, que visa complementar a técnica: “Modelagem Baseada em Agentes (MBA)”, para analisar a produtividade e as práticas utilizadas na indústria da construção.

Aplicação desse modelo é influenciado tanto pela motivação dos trabalhadores quanto pelo ambiente de trabalho. O modelo simula a motivação e o desempenho das equipes em projetos de construção para compreender a relação entre a motivação da equipe de construção, fatores situacionais / contextuais e o desempenho da equipe. (RAOUFI; FAYEK 2020)

3.4.7 Lógica Fuzzy e Fuzzy Híbrido

Fayek (2020) argumenta que a modelagem de produtividade baseada na Lógica Fuzzy tem sido amplamente utilizada na indústria da construção, porém, os pesquisadores estão adaptando essa técnica e associando a outros modelos para obter resultados mais precisos. Híbridização é o processo de combinar duas ou mais técnicas para integrar seus pontos fortes e superar suas deficiências.

Pesquisadores perceberam que os modelos baseados apenas na Lógica Fuzzy são limitados em sua capacidade de abordar todas as facetas da maioria dos problemas de construção pelas seguintes razões: incapacidade de aprender com os dados, ampla dependência do conhecimento especializado, natureza dependente do contexto, falta de capacidade de generalização e incapacidade de captar as condições dinâmicas. A pesquisa em construção, portanto, evoluiu para se concentrar na integração da lógica Fuzzy com outras técnicas que têm pontos fortes complementares; as técnicas híbridas Fuzzy resultantes têm a funcionalidade necessária para superar as limitações de cada técnica. (FAYEK, 2020)

3.4.8 Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)

O modelo foi proposto pela primeira vez em 1980. Desde a sua invenção, o FAHP é utilizado para tomada de decisão, tornando-se uma das ferramentas de tomada de decisão de múltiplos critérios mais amplamente utilizadas. Dessa forma, Motlagh, Valmohammadi e Modiri (2020), desenvolveram um modelo qualitativo baseado no FAHP para estimar e monitorar a produtividade com o objetivo de avaliar a eficiência e eficácia de uma empresa líder em serviços de internet no Irã. (MOTLAGH; VALMOHAMMADI; MODIRI, 2020)

3.4.9 Intervalos de predição baseados em redes neurais artificiais (RNA)

A produtividade do trabalho na indústria da construção é um conceito-chave que tem o potencial de afetar o prazo, o custo e a qualidade dos projetos de construção. Pensando nesse aspecto, Nasirzadeh et al. (2020) propuseram a adoção de um método baseado em redes neurais artificiais (RNA) para monitorar e estimar a produtividade, com base em dados históricos e, segundo os autores, os resultados foram satisfatórios.

3.4.10 Regressão Polinomial Evolucionária (RPE)

Golnaraghi et al. (2020) avaliaram a utilização do método Regressão Polinomial Evolucionária (RPE) na modelagem de produtividade para instalação de fôrmas na construção civil. Os autores compararam os resultados obtidos com três outras técnicas: Melhor Subconjunto, Stepwise e Rede Neural de Regressão Geral (RNRG). Os resultados da pesquisa mostraram que o método (RPE) apresentou melhores soluções para sistemas não lineares e que são baseado em dados estatísticos de indicadores de desempenho.

3.5 CARTAS DE CONTROLE

Para monitoramento do comportamento de variáveis ou atributos que definem o desempenho de processos, podem-se utilizar as Cartas CEP (Controle Estatístico de Processo) em forma de gráficos. Logo, segundo Maciel; Branco; Werner, (2014), existem quatro gráficos de controle para monitorar atributos, sendo:

O gráfico np monitora o número de defeituosos, ou seja, o número de itens não conformes. O gráfico p monitora o percentual de defeituosos (não conformes). O gráfico c monitora o número de não conformidades na amostra. O gráfico u monitora o número de não conformidades por unidade. Para os gráficos np e c é necessário que as amostras sejam do mesmo tamanho (MACIEL; BRANCO; WERNER, 2014, p.4).

Portanto, as Cartas CEP (Controle Estatístico de Processo) podem ser utilizadas como dados de entrada de medições de variáveis de interesse, realizadas em momentos pré-determinados (FOGLIATTO *et al.*, 2003). Segundo De Oliveira, et al., (2013), as cartas ou gráficos de controle são adotadas no processo de monitoramento o desempenho de um processo de medição. Esses gráficos são usados, pois “determinam estatisticamente uma faixa denominada limites de controle, que é limitada por uma linha superior (limite superior de controle-LSC) e uma linha inferior (limite inferior de controle-LIC), além de uma linha central (limite central-LC)” (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013, p.13). A figura 43 e a figura 44 apresentam modelos de cartas de controle.

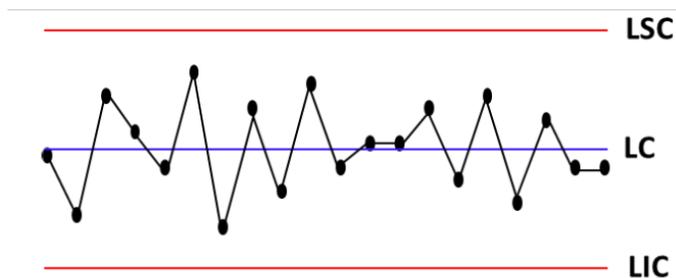


Figura 43 – Carta de controle com dados sob o controle estatístico

Fonte: (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013, p.13).

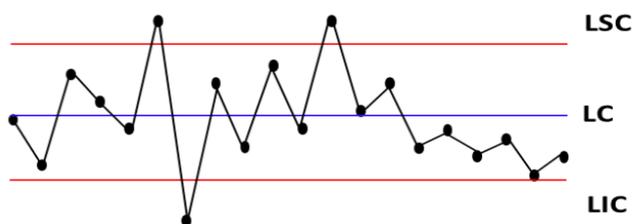


Figura 44 - Carta de controle com dados fora do controle estatístico

Fonte: (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013, p.13).

A avaliação do gráfico se dá através da análise dos pontos. Portanto, considera-se que o processo está sob de controle quando todos os pontos amostrais permanecerem dentro dos limites de controle de forma aleatória. Porém, se houver ponto(s) fora dos limites de controle, significa que o processo está “fora de controle e que deve acontecer investigação e ação(ões) corretiva(s) para detectar e eliminar a(s) causa(s) especiais no processo”. (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Através do CEP pode-se ter uma descrição detalhada do comportamento do processo, proporcionando assim, o seu controle ao longo do tempo, através da coleta contínua e identificando sua variabilidade. No CEP, também ajuda no monitoramento do processo, podendo ser executado pelos próprios operadores, o que possibilita uma rápida identificação de anomalias, além de proporcionar maior consistência e previsibilidade no processo, com vistas à atuação e tomada de decisões na busca de melhorias (FOGLIATTO *et al.*, 2003).

O gráfico obtido através do CEP pode ser usado pelos gerentes e operadores no chão de fábrica, pois, com um único parâmetro, torna-se possível identificar a presença de causas especiais no processo (OPRIME *et al.*, 2016). Esses métodos tradicionais de gráficos de controle vêm sendo, ainda, adotados em diversas situações práticas da indústria. Portanto, é

importante considerar novos desenvolvimentos de métodos de gráficos de controle que se adapte às novas condições ambientais da indústria manufatureira (OPRIME et al., 2016).

O CEP em Processos contínuos é representado por inúmeras empresas. Portanto, a utilização do CEP em um processo contínuo, devido às suas peculiaridades, pode facejar algumas dificuldades. Segundo Bittencourt; Miorando; Rossini (2014), são elas:

- Emprego de amostras unitárias: a maioria dos livros textos de CEP enfatiza somente gráficos em que médias são utilizadas para o controle do processo e nos processos contínuos é bastante comum serem utilizadas amostras de tamanho unitário onde há somente um resultado disponível para análise.
- Coleta e formação de amostras: existe a necessidade de identificar a melhor forma de coletar as amostras e formar subgrupos para a análise da estabilidade estatística. Em processos contínuos estas metodologias nem sempre são tão intuitivas como na fabricação de produtos discretos.
- Transmissão de variação pelas matérias primas: como os insumos utilizados na indústria de processos contínuos costumam ser fornecidos diretamente da natureza sem haver nenhum processamento prévio, é comum haver maior variação em suas características do que em materiais que se encontram em estágios mais avançados da cadeia produtiva.
- Fluxos múltiplos de material: como os processos podem apresentar múltiplas entradas, geralmente há a necessidade da elaboração de múltiplos gráficos de controle, sendo um para cada fluxo, e dificuldade na formação de subgrupos para análise do processo.
- Bateladas homogêneas, mas com diferenças entre si: lotes geralmente possuem homogeneidade satisfatória, contudo, podem apresentar variabilidades com relação a outros lotes.
- Dados não independentes: pode haver correlação entre dados obtidos próximos no tempo e este problema pode afetar os gráficos de controle, que necessitam ser modificados para a compensação dessa inconveniência (BITTENCOURT; MIORANDO; ROSSINI, 2014, p.4)

Segundo Bittencourt; Miorando; Rossini (2014), a carta de controle pode ser utilizada para estudo de média e de amplitude móvel para valores. Dessa forma é possível calcular os limites de controle e, ainda, verificar a ausência de autocorrelação entre os dados e a presença da normalidade.

3.6 FÔRMAS DE ALUMÍNIO

Segundo Rivankar e Chordiya (2017) o sistema construtivo composto por fôrmas de alumínio foi desenvolvido pelo engenheiro W. J. Malone como um sistema de construção para habitações populares de baixo custo, no final dos anos 70. As unidades devem ser de concreto moldado no local, com paredes de suporte de carga, usando um sistema de painéis de alumínio. Desse modo, esse sistema garantiu um método rápido e econômico de construção. Ademais, nesse sistema, todos os componentes são devidamente confeccionados na fábrica de acordo com as dimensões fornecidas pelo arquiteto. Essas fôrmas são fortes, fáceis de

manipular, são fabricados com precisão e podem ser usados repetidamente em torno de 150 vezes.

A figura 45, apresentada a seguir, apresenta alguns componentes utilizados no sistema de fôrmas de alumínio.



Figura 45 - Componentes do sistema de fôrmas de alumínio

Fonte: Adaptado pelo Autor (Rivankar e Chordiya, 2017, p.3721).

Os componentes são interconectados entre si e projetados na mesma perspectiva. Portanto, no processo de fabricação, esses são nomeados ou numerados, tornando, assim, mais fácil a montagem das fôrmas, e minimizados os erros durante a montagem. A figura 46 ilustra a diagramática típica da montagem das formas na obra. (RIVANKAR; CHORDIYA, 2017)

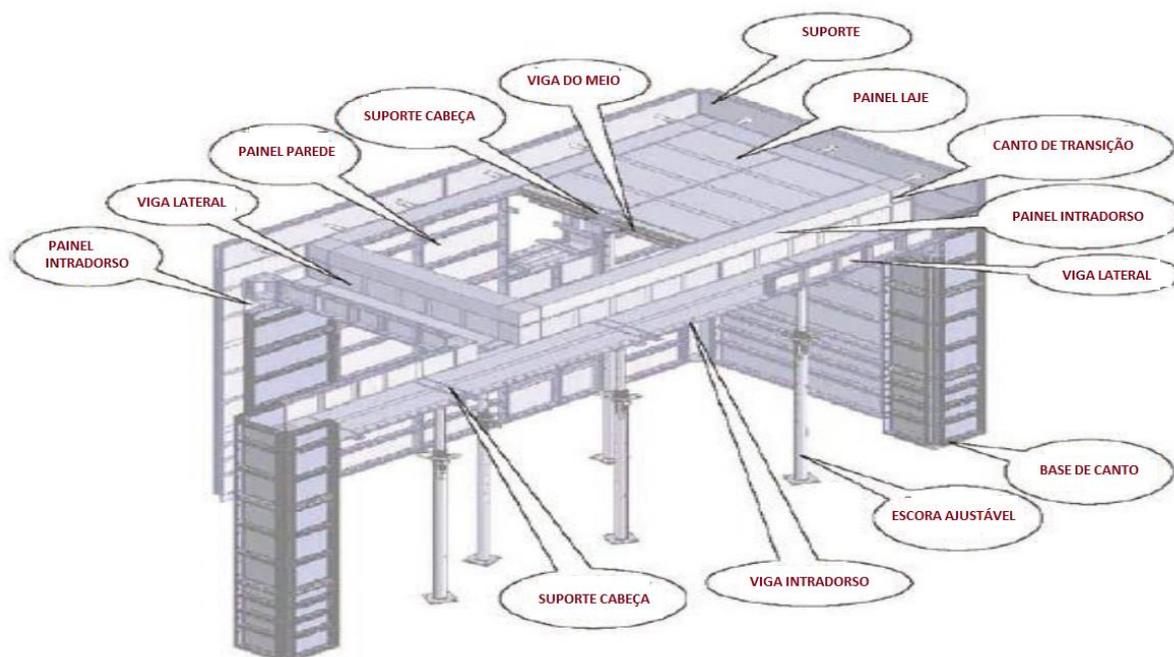


Figura 46 - Esquemática para a montagem dos painéis

Fonte: Adaptado pelo Autor (RIVANKAR e CHORDIYA, 2017, p.3722).

Na fabricação das fôrmas de concreto, deve-se certificar se as mesmas apresentam rigidez para preservar as dimensões e formas previstas no projeto estrutural para os elementos de concreto, e resistência para segurar os esforços provenientes de seu peso próprio, do peso e empuxo lateral do concreto, do adensamento, do trânsito de pessoas e equipamentos. Ainda, sua estabilidade deve ser garantida utilizando-se suportes e contraventamentos. (MARANHÃO, 2000).

Portanto, as fôrmas devem ser projetadas para suportar as sobrecargas de operação, lançamento e adensamento do concreto durante a moldagem da estrutura. Também deve-se levar em consideração situações como colocação assimétrica do concreto, as ações permanentes e variáveis, as cargas devidas à pressão lateral exercida pelo concreto, as cargas horizontais devidas à ação do vento e à movimentação de equipamentos de construção, bem como ações excepcionais que possam vir a acontecer. (MARANHÃO, 2000).

Dessa forma, segundo Maranhão (2000):

As fôrmas para as estruturas de concreto armado devem resistir às pressões e cargas a que estão sujeitas. Deve-se assegurar uma adequada resistência e rigidez com o máximo de economia. As fôrmas devem ser projetadas com os mesmos cuidados e atenção que são utilizados no cálculo das estruturas de concreto armado. A falta do projeto de fôrmas poderá resultar num custo excessivo de material, subestimando a resistência e rigidez do mesmo, ou, na pior das hipóteses, resultar na falha do sistema de fôrmas. (MARANHÃO, 2000, p.48).

No sistema de fôrmas para a estrutura de concreto, devem-se avaliar diversos fatores, incluindo o custo dos materiais, o custo da mão de obra na fabricação, montagem e desmontagem das fôrmas, e o custo dos equipamentos requeridos para fabricação das fôrmas (MARANHÃO, 2000).

Economia também inclui o número de reutilizações das fôrmas, a possibilidade de utilização das fôrmas em outras partes, e o tipo de superfície final do concreto após as fôrmas serem removidas. O alto custo inicial dos materiais, como por exemplo as fôrmas metálicas, podem ser diluídos em razão do grande número de utilizações por elas obtido (MARANHÃO, 2000).

De acordo com Rivankar e Chordiya (2017), existem algumas vantagens e desvantagem para executar um projeto com fôrmas de alumínio, conforme tabela 25.

Tabela 25 - Vantagens e desvantagens fôrmas de alumínio

Vantagens	Desvantagem
<ol style="list-style-type: none"> 1. Não requer reboco. 2. Economia de despesas gerais devido à rápida construção (10 dias por andar). 3. Estruturas livres de fissuras monolíticas. 4. Não requer madeira ou compensado para atividades de construção. 5. Concretagem de paredes e lajes simultaneamente. 6. Não requer mão de obra qualificada e não requer guindastes. 7. Qualidade uniforme de construção. 8. Acabamento de alta qualidade. 9. O sistema se torna rentável onde há uma considerável repetição de layouts de piso em um projeto como no caso de habitação em massa de baixo custo. 10. Os painéis podem ser reutilizados até 150 vezes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investimento inicial alto. 2. Desvantagem nas reformas e modificações quando comparada a construções de tijolo. 3. O calor de hidratação é alto devido às paredes de cisalhamento. 4. Risco de roubo de extrusões e folhas de alumínio devido ao alto valor da matéria-prima.

Fonte: Adaptado pelo Autor (RIVANKAR; CHORDIYA, 2017, p. 3725).

3.7 MÉTODO DE MONTE CARLO

No método de Monte Carlo se faz necessário a introdução de recursos humanos, materiais e monetários nos métodos e processos utilizados na indústria da construção, que tem

como resultado um produto. A definição da produtividade está relacionada aos recursos humanos utilizados para obtenção do produto no tempo necessário para tal. Portanto, a produtividade pode ser definida como a relação do homem-hora [Hh] utilizada no processo de conversão construtiva com a quantidade de produtos obtidos. Sendo assim, o Homem-hora é o tempo que o trabalhador realiza uma determinada tarefa em uma hora. Portanto, “a quantidade de tempo do trabalhador consumida em sua jornada de trabalho é medida em Homens-Hora, sendo esta unidade é a que é utilizada pela indústria” (MARTINS; FERREIRA, 2013).

Por definição o método de Monte Carlo é:

O método de Monte Carlo (MMC) tem como base a geração de uma quantidade de números pseudo-aleatórios previamente estabelecidos, com seus valores distribuídos segundo uma função com parâmetros identificados na amostra a ser analisada, e a partir de critérios de avaliação de sua aderência em relação à distribuição dos elementos da amostra. A função geratriz a ser utilizada como função densidade de probabilidade (FDP) deve apresentar forma semelhante a da distribuição dos elementos da amostra pelas classes a serem calculadas em condições pré-estabelecidas. Assim, a partir da amostra, com as classes e a quantidade de números pseudo-aleatórios definidos, a simulação é realizada. A partir deste ponto é realizada a verificação da distribuição dos números gerados em relação à distribuição inicial, por teste de aderência qui-quadrado e por comparação da máxima verossimilhança da simulação em relação à amostra. Com a condição de aprovação do teste de aderência, encerra-se a análise com a avaliação dos resultados obtidos na simulação (MARTINS; FERREIRA, 2013, p.2).

Observa-se na literatura que o método de Monte Carlo tem sido aplicado para analisar e estimar a produtividade (BARRETO, 2017), (GIÓIA, 2015), (LOBATO, 2015), (FERREIRA; TABIM, 2015), (MARTINS; FERREIRA, 2013), (NEY, 2016) e (TABIM, 2013). Neste sentido, Tabim et al., (2016) desenvolveram trabalho com a utilização do “software” @Risk 6.0 para estudar o comportamento da produtividade do processo e a global na soldagem de dutos terrestres. As curvas FDPA possibilitaram observar as possibilidades de desempenho e as probabilidades de ocorrência dos valores de produtividade do processo e para a produtividade global. Neste estudo, com a utilização do Método de Monte Carlo (MMC) e os recursos do “software”, foi possível estimar a perda da produtividade das atividades do processo produtivo em função da ocorrência de eventos que geraram tempos improdutivos.

Lobato (2015) adotou o MMC como ferramenta de avaliação do comportamento da produtividade da soldagem do aço ASTM A-36 com eletrodo E71T-1C /M e dois gases de proteção: ArC-25 (75% de argônio e 25% de CO₂) e ArC-40 (60% de argônio e 40% de CO₂). O autor utilizou o MMC através do software @RISK 7.5, sendo que a partir dos resultados da simulação foi possível determinar, qual tipo de gás de proteção resultou em procedimentos de soldagem com maior produtividade.

Ney (2016) usou o MMC objetivando avaliar o desempenho de uma metodologia para avaliar o fator de ocupação e a ociosidade de trabalhadores no interior de uma fábrica, que é um fornecedor de tubos para montagem de tubulações industriais para plantas de processo de plataformas marítimas. Os resultados obtidos permitiram, além da determinação com precisão razoável do fator de ocupação e da ociosidade na fábrica, estabelecer os eventos de maior impacto na ociosidade dos trabalhadores.

Gióia (2015) também adotou o MMC para avaliar os fatores que impactam na produtividade da soldagem de tubulações industriais de aço-carbono em obras gerenciadas pela Petrobras na Refinaria Duque de Caxias (REDUC). O autor utilizou o programa computacional @Risk 6.1 para análise dos fatores que impactaram a produtividade da soldagem, considerando os tempos produtivos e improdutivos.

Martins e Ferreira (2013) avaliaram a viabilidade da aplicação do MMC para a estimativa da produtividade da soldagem de tubulações industriais de aço carbono com o processo de soldagem TIG. Os resultados do experimento demonstraram a possibilidade da aplicabilidade do MMC na estimativa da produtividade na soldagem de tubulações industriais.

O Método de Monte Carlo foi aprovado para estimar a produtividade global e intrínseca da soldagem de dutos terrestres. Através do “software” @Risk 6.0 foi possível desenvolver as curvas Função de Densidade de Probabilidade Acumulada (FPA) para estudar o comportamento da produtividade. As curvas FPA possibilitaram observar as possibilidades de desempenho e as probabilidades de ocorrência dos valores de produtividade intrínseca e para a produtividade global, permitiram estudar as probabilidades de ocorrência dos valores considerando os tempos produtivos e improdutivos. Através da relação entre as FPA da PI e PA, foi possível estimar a perda da produtividade das atividades em questão em função da ocorrência de eventos que geraram tempos improdutivos (TABIM *et al.*, 2016).

De acordo com Ferreira e Tabim (2015), o procedimento de simulação com o método de Monte Carlo pode seguir as etapas da figura 47:

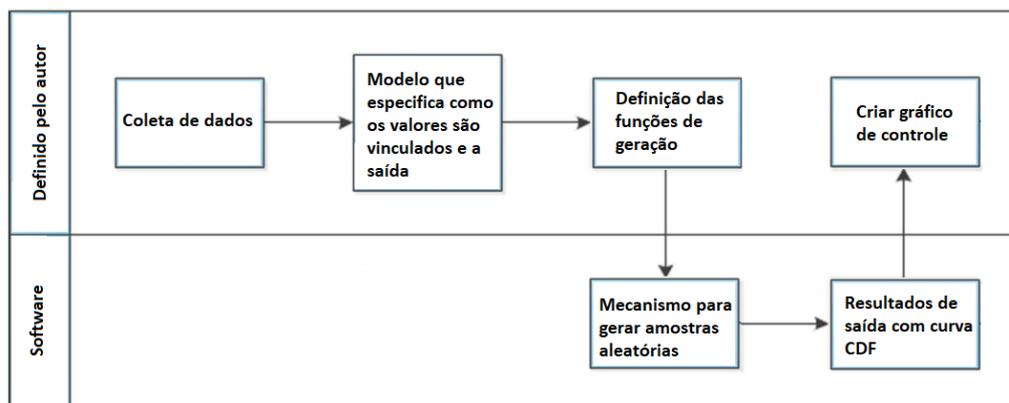


Figura 47 - Procedimento para simulação do método de Monte Carlo

Fonte: (FERREIRA; TABIM, 2015, p.544)

3.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Através do gráfico de Tornado pode-se estudar a sensibilidade do modelo proposto no comportamento da PI e identificar quais as atividades que mais impactavam no processo. E, quando utilizado para analisar a PG, facilita a observação do efeito dos eventos que geram tempos improdutivo. O resultado dos gráficos ajuda nas tomadas das decisões pois através dele os impactos são quantificados e com isso, é possível estabelecer uma ordem de prioridade de ações para melhorar a produtividade (TABIM *et al.*, 2016). Sendo assim, para determinar o impacto de cada evento no Fator de Ocupação de Mão de Obra e da Ociosidade, pode-se utilizar a análise de sensibilidade, por meio do diagrama de Tornado, desvio da média, que é uma ferramenta disponível no “Software @risk 7.5 da Palisade Corporation” (NEY, 2016).

Pode-se adotar o modelo do fluxograma da simulação, na figura 48, para obter o modelo que permite a realização da análise de sensibilidade das funções produtividade intrínseca e global (TABIM *et al.*, 2016).

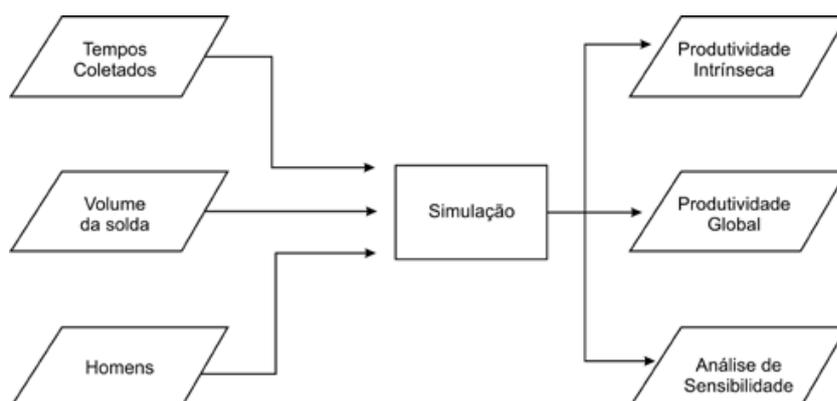


Figura 48 - Modelo do fluxograma para o método de Monte Carlo

Fonte: (TABIM et al., 2016, p.22)

A análise de sensibilidade é uma técnica de modelagem determinística, que é utilizada para testar o impacto da mudança de valores em determinada variável independente dentro das outras variáveis dependentes. Assim sendo é capaz de responder várias perguntas do tipo, “e se”, num grande espectro de respostas possíveis. A maior vantagem desta metodologia consiste na explicitação de forma robusta dos parâmetros que impactam determinado processo, permitindo a quantificação do impacto dos mesmos na variável sob observação. Os autores apontam a análise de sensibilidade como um processo iterativo que apresenta os efeitos das mudanças em custo, que ocorrerão no ciclo de vida da gestão de custos de um projeto, podendo ainda ser utilizada para diversas situações, entre as quais se pode citar a produtividade. O diagrama de tornado é uma das ferramentas empregadas na Análise de Sensibilidade onde se demonstra graficamente a influência das variações que poderão ocorrer numa variável de um determinado processo na variável principal que o representa. Determinando assim, quais as variáveis que possuem o maior grau de potencial de impacto, entre aquelas que compõem o modelo desenvolvido. Reproduz a classificação de uma entrada “input” em relação a outra entrada “input”, comparando os efeitos de todas as entradas nos resultados. De forma gráfica o comprimento da barra representa a quantidade de mudança produzida no resultado (NEY, 2016 p.74).

4 RESULTADOS

Os resultados serão analisados em 3 partes: Produtividade Intrínseca; ociosidade (função de ociosidade); e Produtividade global estimada.

No item 4.1 será apresentado as curvas de probabilidade acumulada ascendente (FPA) dos três produtos selecionados no experimento para a produtividade intrínseca. Após o estudo desses resultados, será apresentado também os gráficos do tipo Tornado desvio da média para analisar o impacto de cada atividade no fluxo de produção de cada produto.

No item 4.2, relativo à ociosidade, será exposto a FPA dos dados coletados em campo, da entrevista subjetiva com os especialistas e elaborado o gráfico Tipo Tornado desvio da média. Dessa forma, será possível comparar os resultados do modelo desenvolvido com os dados reais e validar o experimento. Para a validação será utilizado os limites de confiança propostos por Adrian (2004).

No item 4.3 (produtividade global) será apresentado as curvas de probabilidade acumulada ascendente (FPA) dos três produtos selecionados no experimento e a sobreposição dos das FPA do modelo gerado a partir das entrevistas subjetivas (pela função triangular e uniforme). Dessa forma, será possível comparar o comportamento do modelo com dados coletados em campo com o modelo coletado a partir da entrevista. Em seguida, será apresentado as curvas da produtividade global real apropriada e as sobreposições com as curvas dos modelos desenvolvidos. Dessa forma, será possível validar o experimento. Os dados relevantes a serem comparados são: Média, Moda, Desvio padrão e coeficiente de variação. Também será apresentado o gráfico Tipo Tornado para a análise de sensibilidade.

4.1 PRODUTIVIDADE INTRÍNSECA

Os resultados da coleta dos dados pertinentes ao tempo para a realização de cada tarefa descrita na figura 8, referente ao painel 600x2400mm, estão representadas pelas tabela 36, tabela 37 e tabela 38.

Tabela 36 - Tomada de Tempo para Cortar (Painel 600x2400mm)

Cortar									
Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Cabeça (2 pç)		Perfil Laje Costela (7 pç)		Chapa de alumínio 3,0mm (1 pç)		Chapa de alumínio 2,5mm (16 pç)	
Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)
1	0,0347	1	0,0172	1	0,0125	1	0,0256	1	0,0139
2	0,0111	2	0,0056	2	0,0042	2	0,0439	2	0,0042
3	0,0267	3	0,0053	3	0,0056	3	0,0494	3	0,0056
4	0,0125	4	0,0053	4	0,0056	4	0,0583	4	0,0044
5	0,0311	5	0,0061	5	0,0047	5	0,0342	5	0,0050
6	0,0106	6	0,0208	6	0,0053	6	0,0389	6	0,0083
7	0,0292	7	0,0056	7	0,0053	7	0,0306	7	0,0069
8	0,0111	8	0,0056	8	0,0047	8	0,0361	8	0,0042
9	0,0306	9	0,0058	9	0,0050	9	0,0394	9	0,0153
10	0,0050	10	0,0050	10	0,0139	10	0,0356	10	0,0069
11	0,0264	11	0,0219	11	0,0028	11	0,0328	11	0,0083
12	0,0111	12	0,0061	12	0,0061	12	0,0500	12	0,0111
13	0,0292	13	0,0061	13	0,0053	13	0,0494	13	0,0153
14	0,0333	14	0,0042	14	0,0042	14	0,0458	14	0,0083
15	0,0083	15	0,0219	15	0,0033	15	0,0472	15	0,0092
16	0,0319	16	0,0042	16	0,0056	16	0,0331	16	0,0078
17	0,0097	17	0,0042	17	0,0144	17	0,0425	17	0,0083
18	0,0278	18	0,0042	18	0,0078	18	0,0394	18	0,0144
19	0,0083	19	0,0053	19	0,0042	19	0,0494	19	0,0072
20	0,0272	20	0,0228	20	0,0047	20	0,0533	20	0,0083
21	0,0153	21	0,0061	21	0,0050	21	0,0517	21	0,0056
22	0,0306	22	0,0042	22	0,0050	22	0,0458	22	0,0056
23	0,0097	23	0,0042	23	0,0089	23	0,0322	23	0,0042
24	0,0278	24	0,0042	24	0,0058	24	0,0417	24	0,0061
25	0,0106	25	0,0222	25	0,0181	25	0,0425	25	0,0083
26	0,0292	26	0,0056	26	0,0053	26	0,0472	26	0,0161
27	0,0111	27	0,0050	27	0,0033	27	0,0389	27	0,0111
28	0,0333	28	0,0056	28	0,0042	28	0,0431	28	0,0089
29	0,0106	29	0,0222	29	0,0033	29	0,0406	29	0,0064
30	0,0292	30	0,0056	30	0,0028	30	0,0444	30	0,0042

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 47 - Tomada de tempo para fresar, furar e instalação de bucha e arrebite (Painel 600x2400mm)

Fresar		Furar				Instalação de Bucha e rebite	
Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Cabeça (2 pç)		Perfil Laje Lateral (2 pç)	
Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)
1	0,0203	1	0,0356	1	0,0167	1	0,0678
2	0,0208	2	0,0267	2	0,0194	2	0,0683
3	0,0207	3	0,0261	3	0,0178	3	0,0828
4	0,0203	4	0,0206	4	0,0178	4	0,0639
5	0,0204	5	0,0278	5	0,0172	5	0,0700
6	0,0207	6	0,0261	6	0,0167	6	0,0706
7	0,0207	7	0,0278	7	0,0194	7	0,0700
8	0,0204	8	0,0378	8	0,0161	8	0,0722
9	0,0210	9	0,0222	9	0,0167	9	0,0706
10	0,0210	10	0,0344	10	0,0167	10	0,0706
11	0,0210	11	0,0283	11	0,0178	11	0,0728
12	0,0210	12	0,0250	12	0,0222	12	0,0750
13	0,0204	13	0,0378	13	0,0233	13	0,1128
14	0,0206	14	0,0344	14	0,0194	14	0,0567
15	0,0206	15	0,0344	15	0,0178	15	0,0772
16	0,0208	16	0,0333	16	0,0167	16	0,0861
17	0,0210	17	0,0344	17	0,0194	17	0,0678
18	0,0210	18	0,0361	18	0,0178	18	0,0767
19	0,0206	19	0,0344	19	0,0178	19	0,0683
20	0,0206	20	0,0356	20	0,0194	20	0,0722
21	0,0208	21	0,0417	21	0,0167	21	0,0750
22	0,0208	22	0,0317	22	0,0156	22	0,0728
23	0,0208	23	0,0361	23	0,0178	23	0,0772
24	0,0206	24	0,0322	24	0,0189	24	0,0861
25	0,0206	25	0,0372	25	0,0189	25	0,0678
26	0,0208	26	0,0361	26	0,0194	26	0,0894
27	0,0208	27	0,0378	27	0,0178	27	0,0944
28	0,0210	28	0,0478	28	0,0178	28	0,0650
29	0,0210	29	0,0344	29	0,0194	29	0,0967
30	0,0210	30	0,0306	30	0,0194	30	0,1794

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 58 - Tomada de tempo para montagem, solda e desempenho e aplicação de cal (Painel 600x2400mm)

Montagem		Solda		Desempeno		Aplicação de Cal	
Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)
1	0,0917	1	0,1583	1	0,0292	1	0,0064
2	0,0975	2	0,2072	2	0,0353	2	0,0092
3	0,1272	3	0,1908	3	0,0333	3	0,0072
4	0,1056	4	0,2333	4	0,0300	4	0,0083
5	0,1167	5	0,1783	5	0,0306	5	0,0069
6	0,1228	6	0,2647	6	0,0361	6	0,0064
7	0,1017	7	0,1542	7	0,0517	7	0,0069
8	0,1100	8	0,1550	8	0,0256	8	0,0072
9	0,1208	9	0,1972	9	0,0275	9	0,0072
10	0,1178	10	0,1986	10	0,0292	10	0,0061
11	0,1042	11	0,2033	11	0,0306	11	0,0083
12	0,1111	12	0,1822	12	0,0361	12	0,0097
13	0,1194	13	0,2428	13	0,0347	13	0,0069
14	0,1208	14	0,1597	14	0,0319	14	0,0083
15	0,0931	15	0,2083	15	0,0306	15	0,0067
16	0,0917	16	0,1944	16	0,0319	16	0,0067
17	0,1028	17	0,2406	17	0,0333	17	0,0061
18	0,1139	18	0,2047	18	0,0306	18	0,0072
19	0,0986	19	0,2611	19	0,0389	19	0,0072
20	0,1194	20	0,2072	20	0,0361	20	0,0097
21	0,1111	21	0,2422	21	0,0347	21	0,0083
22	0,0958	22	0,1700	22	0,0306	22	0,0100
23	0,1000	23	0,1653	23	0,0292	23	0,0061
24	0,1181	24	0,1950	24	0,0319	24	0,0072
25	0,0931	25	0,2564	25	0,0347	25	0,0078
26	0,1069	26	0,1639	26	0,0333	26	0,0072
27	0,0917	27	0,1822	27	0,0361	27	0,0069
28	0,1028	28	0,2083	28	0,0319	28	0,0064
29	0,1139	29	0,1875	29	0,0333	29	0,0067
30	0,1083	30	0,1958	30	0,0306	30	0,0064

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Não foram considerados os tempos de inspeção da qualidade e de pesagem e registro dos equipamentos, pois esses procedimentos não afetam na produtividade da produção das fôrmas.

A tabela 29, a tabela 30 e a tabela 31 representam os resultados da coleta dos dados referentes ao tempo para a realização de cada tarefa descrita na figura 10 do painel 500x2400mm.

Tabela 69 - Tomada de Tempo para Cortar (Painel 500x2400mm)

Cortar									
Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Cabeça (2 pç)		Perfil Laje Costela (7 pç)		Chapa de alumínio 3,0mm (1 pç)		Chapa de alumínio 2,5mm (16 pç)	
Quan t.	Tempo (hora)	Quan t.	Tempo (hora)	Quan t.	Tempo (hora)	Quan t.	Tempo (hora)	Quan t.	Tempo (hora)
1	0,0181	1	0,0042	1	0,0158	1	0,0325	1	0,0153
2	0,0061	2	0,0047	2	0,0042	2	0,0419	2	0,0056
3	0,0278	3	0,0042	3	0,0056	3	0,0111	3	0,0061
4	0,0122	4	0,0056	4	0,0064	4	0,0178	4	0,0056
5	0,0250	5	0,0069	5	0,0058	5	0,0342	5	0,0072
6	0,0106	6	0,0397	6	0,0047	6	0,0367	6	0,0078
7	0,0208	7	0,0042	7	0,0058	7	0,0292	7	0,0083
8	0,0181	8	0,0050	8	0,0053	8	0,0375	8	0,0061
9	0,0358	9	0,0139	9	0,0064	9	0,0389	9	0,0111
10	0,0033	10	0,0117	10	0,0097	10	0,0394	10	0,0061
11	0,0219	11	0,0094	11	0,0094	11	0,0347	11	0,0078
12	0,0083	12	0,0056	12	0,0097	12	0,0472	12	0,0089
13	0,0208	13	0,0094	13	0,0069	13	0,0422	13	0,0111
14	0,0083	14	0,0117	14	0,0042	14	0,0431	14	0,0072
15	0,0197	15	0,0056	15	0,0047	15	0,0458	15	0,0117
16	0,0050	16	0,0069	16	0,0064	16	0,0306	16	0,0097
17	0,0083	17	0,0111	17	0,0097	17	0,0389	17	0,0089
18	0,0139	18	0,0208	18	0,0125	18	0,0406	18	0,0117
19	0,0089	19	0,0097	19	0,0053	19	0,0450	19	0,0078
20	0,0111	20	0,0111	20	0,0050	20	0,0486	20	0,0097
21	0,0336	21	0,0061	21	0,0050	21	0,0500	21	0,0061
22	0,0111	22	0,0083	22	0,0044	22	0,0422	22	0,0089
23	0,0097	23	0,0042	23	0,0083	23	0,0333	23	0,0056
24	0,0264	24	0,0042	24	0,0158	24	0,0375	24	0,0083
25	0,0125	25	0,0211	25	0,0097	25	0,0417	25	0,0089
26	0,0306	26	0,0069	26	0,0053	26	0,0458	26	0,0161
27	0,0167	27	0,0056	27	0,0042	27	0,0361	27	0,0139
28	0,0292	28	0,0042	28	0,0050	28	0,0403	28	0,0089
29	0,0125	29	0,0222	29	0,0053	29	0,0417	29	0,0139
30	0,0272	30	0,0069	30	0,0069	30	0,0458	30	0,0125

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 30 - Tomada de tempo para fresar, furar e instalação de bucha e arrebite (Painel 500x2400mm)

Fresar		Furar				Instalação de Bucha e rebite	
Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Lateral (2 pç)		Perfil Laje Cabeça (2 pç)		Perfil Laje Lateral (2 pç)	
Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)
1	0,0372	1	0,0367	1	0,0178	1	0,0694
2	0,0417	2	0,0289	2	0,0194	2	0,0711
3	0,0347	3	0,0289	3	0,0178	3	0,0833
4	0,0367	4	0,0211	4	0,0178	4	0,0611
5	0,0389	5	0,0278	5	0,0222	5	0,0733
6	0,0378	6	0,0278	6	0,0194	6	0,0694
7	0,0403	7	0,0278	7	0,0194	7	0,0711
8	0,0358	8	0,0389	8	0,0167	8	0,0694
9	0,0358	9	0,0233	9	0,0167	9	0,0711
10	0,0389	10	0,0344	10	0,0178	10	0,0711
11	0,0378	11	0,0306	11	0,0178	11	0,0750
12	0,0369	12	0,0250	12	0,0222	12	0,0750
13	0,0381	13	0,0389	13	0,0256	13	0,0944
14	0,0389	14	0,0333	14	0,0167	14	0,1056
15	0,0358	15	0,0333	15	0,0178	15	0,0833
16	0,0386	16	0,0333	16	0,0178	16	0,0833
17	0,0369	17	0,0322	17	0,0178	17	0,0667
18	0,0369	18	0,0322	18	0,0189	18	0,0750
19	0,0369	19	0,0344	19	0,0189	19	0,0694
20	0,0381	20	0,0356	20	0,0222	20	0,0733
21	0,0389	21	0,0433	21	0,0194	21	0,0750
22	0,0381	22	0,0333	22	0,0167	22	0,0728
23	0,0375	23	0,0361	23	0,0222	23	0,0794
24	0,0358	24	0,0322	24	0,0222	24	0,0833
25	0,0375	25	0,0389	25	0,0189	25	0,0694
26	0,0375	26	0,0333	26	0,0194	26	0,0917
27	0,0375	27	0,0333	27	0,0200	27	0,0917
28	0,0378	28	0,0444	28	0,0200	28	0,0667
29	0,0378	29	0,0333	29	0,0222	29	0,0967
30	0,0378	30	0,0306	30	0,0222	30	0,1056

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Tabela 31 - Tomada de tempo para montagem, solda e desempenho e aplicação de cal (Painel 500x2400mm)

Montagem (1 pç)		Solda (1 pç)		Desempeno (1 pç)		Aplicação de Cal (1 pç)	
Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)	Quant.	Tempo (hora)
1	0,0903	1	0,1667	1	0,0264	1	0,0069
2	0,1000	2	0,2028	2	0,0361	2	0,0083
3	0,1250	3	0,1931	3	0,0347	3	0,0078
4	0,1139	4	0,2347	4	0,0375	4	0,0083
5	0,1194	5	0,1847	5	0,0319	5	0,0061
6	0,1139	6	0,2583	6	0,0333	6	0,0072
7	0,1000	7	0,1569	7	0,0486	7	0,0083
8	0,1028	8	0,1639	8	0,0292	8	0,0072
9	0,1250	9	0,1889	9	0,0278	9	0,0078
10	0,1200	10	0,1958	10	0,0292	10	0,0061
11	0,0972	11	0,2089	11	0,0306	11	0,0078
12	0,1056	12	0,1861	12	0,0361	12	0,0111
13	0,1250	13	0,2472	13	0,0361	13	0,0056
14	0,1222	14	0,1778	14	0,0333	14	0,0069
15	0,0958	15	0,2194	15	0,0319	15	0,0083
16	0,0906	16	0,2097	16	0,0375	16	0,0067
17	0,1000	17	0,2306	17	0,0333	17	0,0061
18	0,1125	18	0,2167	18	0,0306	18	0,0083
19	0,1000	19	0,2486	19	0,0417	19	0,0072
20	0,1167	20	0,2167	20	0,0347	20	0,0111
21	0,1097	21	0,2389	21	0,0306	21	0,0056
22	0,0958	22	0,1708	22	0,0306	22	0,0083
23	0,1028	23	0,1681	23	0,0292	23	0,0061
24	0,1194	24	0,1931	24	0,0319	24	0,0072
25	0,0931	25	0,2667	25	0,0361	25	0,0083
26	0,1056	26	0,1681	26	0,0417	26	0,0078
27	0,0944	27	0,1708	27	0,0361	27	0,0069
28	0,1000	28	0,1986	28	0,0319	28	0,0069
29	0,1125	29	0,1889	29	0,0389	29	0,0067
30	0,1139	30	0,2014	30	0,0333	30	0,0078

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Para a forma 500x2400mm também não foram considerados os tempos de inspeção da qualidade e de pesagem e registro dos equipamentos, pois esses procedimentos não afetam na produtividade da produção das fôrmas.

A tabela 32 representa os resultados da coleta dos dados referentes ao tempo para a realização de cada tarefa descrita na figura 12 do painel canto interno 100x1800mm.

Tabela 32 - Tomada de tempo para cortar, furar, fresar e executar o grau

Cortar		Furo		Fresa		Grau	
Quant.	Tempo (hora)						
1	0,0097	1	0,0300	1	0,0325	1	0,0056
2	0,0117	2	0,0328	2	0,0311	2	0,0039
3	0,0056	3	0,0317	3	0,0311	3	0,0044
4	0,0075	4	0,0314	4	0,0311	4	0,0056
5	0,0103	5	0,0317	5	0,0425	5	0,0044
6	0,0092	6	0,0311	6	0,0311	6	0,0056
7	0,0050	7	0,0317	7	0,0311	7	0,0056
8	0,0139	8	0,0306	8	0,0311	8	0,0061
9	0,0064	9	0,0300	9	0,0311	9	0,0078
10	0,0078	10	0,0322	10	0,0311	10	0,0067
11	0,0086	11	0,0300	11	0,0311	11	0,0056
12	0,0056	12	0,0300	12	0,0300	12	0,0061
13	0,0042	13	0,0328	13	0,0325	13	0,0067
14	0,0064	14	0,0322	14	0,0389	14	0,0083
15	0,0069	15	0,0311	15	0,0311	15	0,0078
16	0,0072	16	0,0317	16	0,0325	16	0,0083
17	0,0125	17	0,0322	17	0,0322	17	0,0089
18	0,0103	18	0,0311	18	0,0300	18	0,0072
19	0,0111	19	0,0311	19	0,0300	19	0,0067
20	0,0078	20	0,0319	20	0,0361	20	0,0056
21	0,0061	21	0,0317	21	0,0375	21	0,0056
22	0,0056	22	0,0328	22	0,0389	22	0,0078
23	0,0072	23	0,0328	23	0,0328	23	0,0072
24	0,0075	24	0,0328	24	0,0361	24	0,0078
25	0,0081	25	0,0317	25	0,0306	25	0,0050
26	0,0108	26	0,0306	26	0,0311	26	0,0056
27	0,0128	27	0,0311	27	0,0417	27	0,0094
28	0,0100	28	0,0311	28	0,0311	28	0,0072
29	0,0133	29	0,0317	29	0,0347	29	0,0061
30	0,0233	30	0,0317	30	0,0333	30	0,0056

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Para o painel canto interno 100x1800mm não foram considerados os tempos de inspeção da qualidade e de pesagem e registro dos equipamentos, pois esses procedimentos não afetam na produtividade da produção das fôrmas.

Após a definição das tabelas dos tempos produtivos de cada produto, realizou-se a simulação dos dados coletados e através da simulação de Monte Carlo, obtendo-se como resultado as curvas de função de probabilidade acumulada (FPA) de cada produto, conforme a figura 49, figura 50, figura 51. Considerou-se o intervalo de confiança de 5% a 95% na curva

para evitar valores irregulares no final do gráfico, a fim de estar o mais próximo possível dos resultados reais. A tabela 33 apresenta as principais estatísticas das curvas obtidas via simulação da PGE estabelecida para os dois produtos.

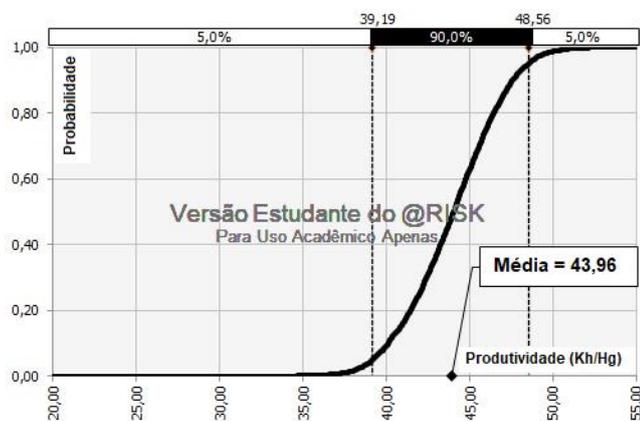


Figura 49 - Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) da fôrma de alumínio 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

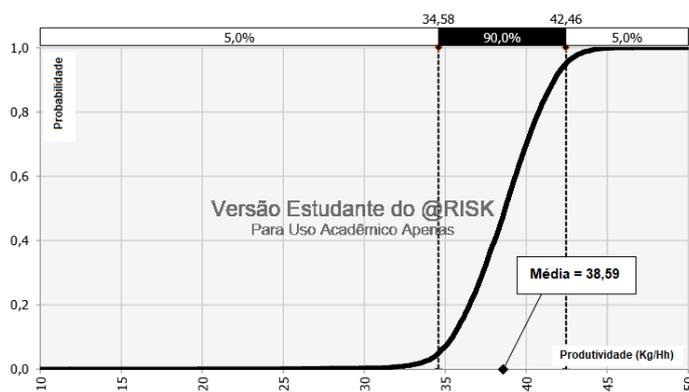


Figura 50 - Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) da fôrma de alumínio 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

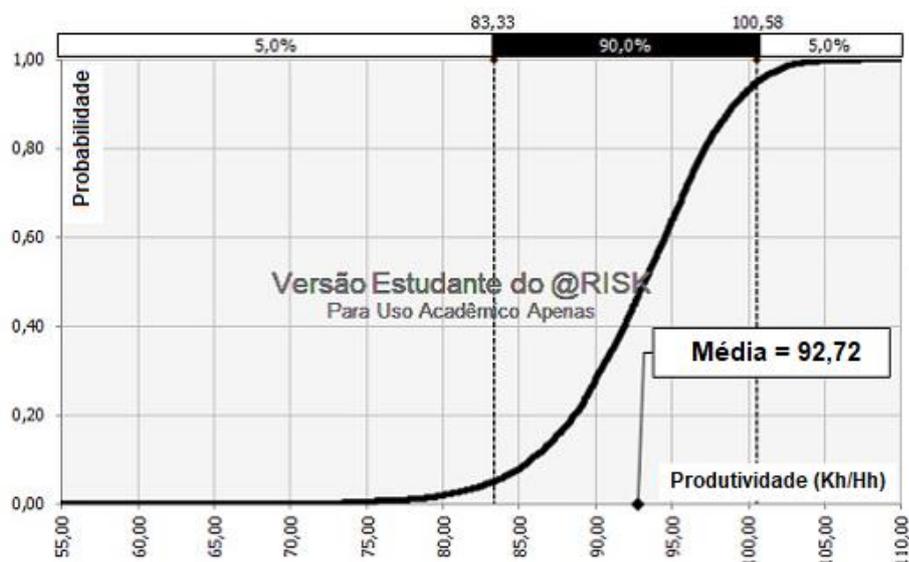


Figura 51 - Comportamento da FPA da Produtividade do Processo (PP) das formas de alumínio - canto interno

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Tabela 33 - Principais Estatísticas da Produtividade do Processo (PP) das Fôrmas de Alumínio

Forma	Média (kg/Hh)	Moda (kg/Hh)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV)
Painel 600x2400mm	43,96	45,26	2,92	0,07
Painel 500x2400mm	38,59	38,62	2,56	0,07
Canto interno 100x1800mm	92,72	94,15	5,34	0,06

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Observando-se a figura 49, verifica-se que a produtividade do processo entre 39 a 48 kg/Hh, possui 90% de probabilidade de ocorrência, para a produção das fôrmas de alumínio 600x2400mm e 34 a 42 kg/Hh para a fôrma de alumínio 500x2400mm. No caso da produção das fôrmas de alumínio – canto interno, esta faixa situa-se entre 83 e 100 kg/Hh. Cabe destacar, que os valores obtidos, respectivamente, para as médias e modas da função PP, para a produção dos três produtos estudados, são próximas. Adicionalmente, os dados da Tabela revelam que a variabilidade do processo produtivo, mensurada com a determinação do CV, para as funções produtividade do processo (PP) são poucos expressivas. Resultados semelhantes também foram obtidos nos trabalhos de Tabim (2013), Tabim *et al.*, (2016),

Ferreira e Tabim (2015) e Lobato (2015). Dessa forma, o Modelo de produtividade FPA foi bem-sucedido em representar o comportamento de produtividade.

Através do modelo que representa o comportamento da produtividade do processo (PP), avaliou-se o efeito do impacto da variação de cada uma das variáveis consideradas na média desta função, realizando-se uma análise de sensibilidade. Realizou-se esta análise, através do gráfico do tipo Tornado Desvio da Média, considerando o fluxo de produção dos produtos. Assim, obteve-se o gráfico para as funções PP de cada produto analisado, conforme figura 52, figura 53 e figura 54. Onde cada barra horizontal apresenta a influência das variáveis que são consideradas no modelo proposto. Neste sentido, observando-se a figura 52 e a figura 53 e se verifica que a soldagem é a atividade de maior impacto, tanto na redução, quanto no aumento da média da PP para a produção das fôrmas de alumínio. No caso da produção dos Cantos Internos, conforme figura 54, se observa que a atividade de corte é a de maior influência no aumento da média da PP. Por outro lado, ainda de acordo com a figura 54, se verifica que a fresagem é a atividade de maior impacto na redução na média da PP.

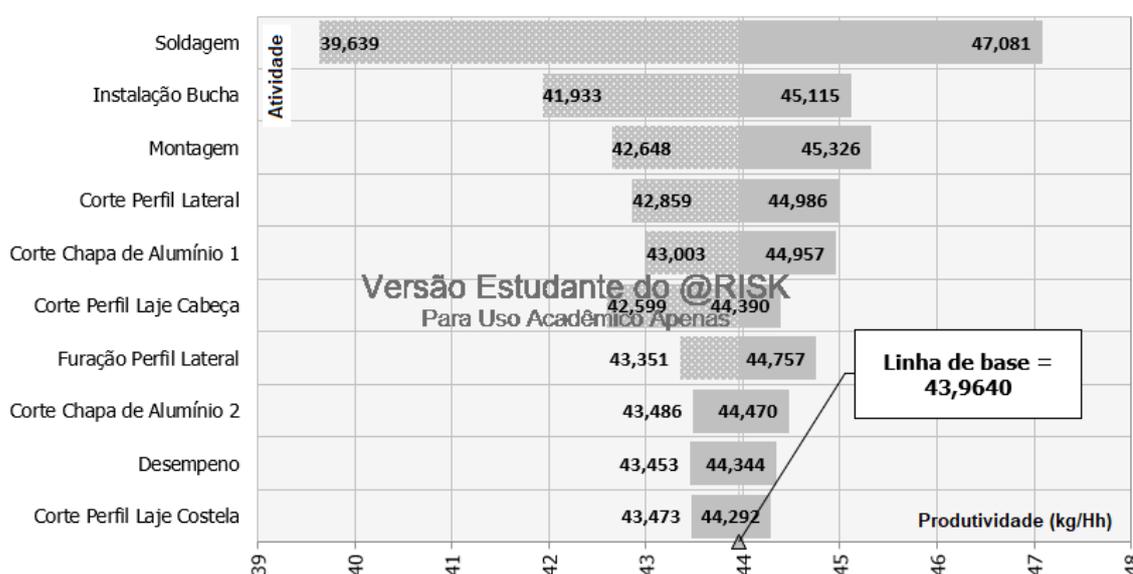


Figura 52 - Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio 500x2400mm na média da Produtividade do Processo (PP)

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021)

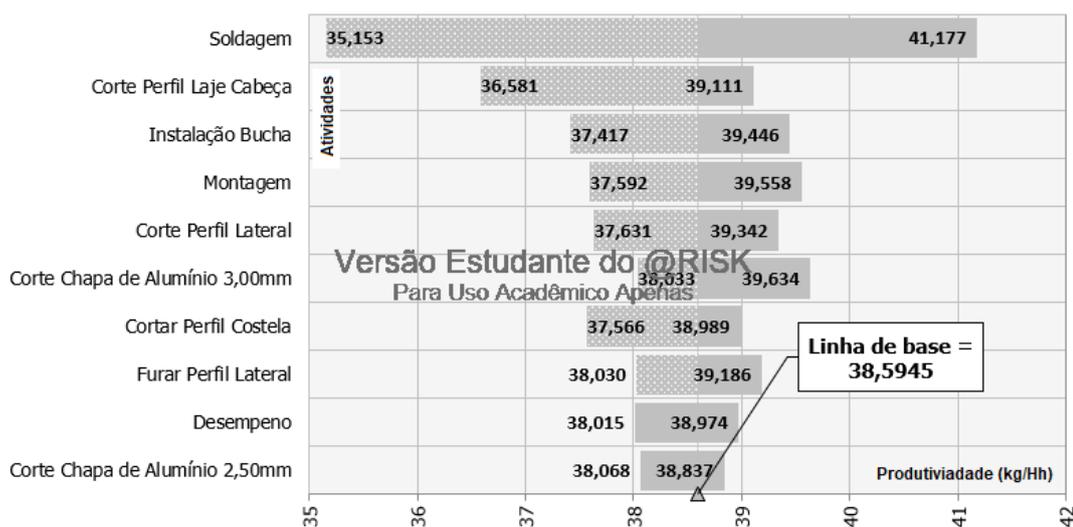


Figura 53 - Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio 500x2400mm na média da Produtividade do Processo (PP)

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021)

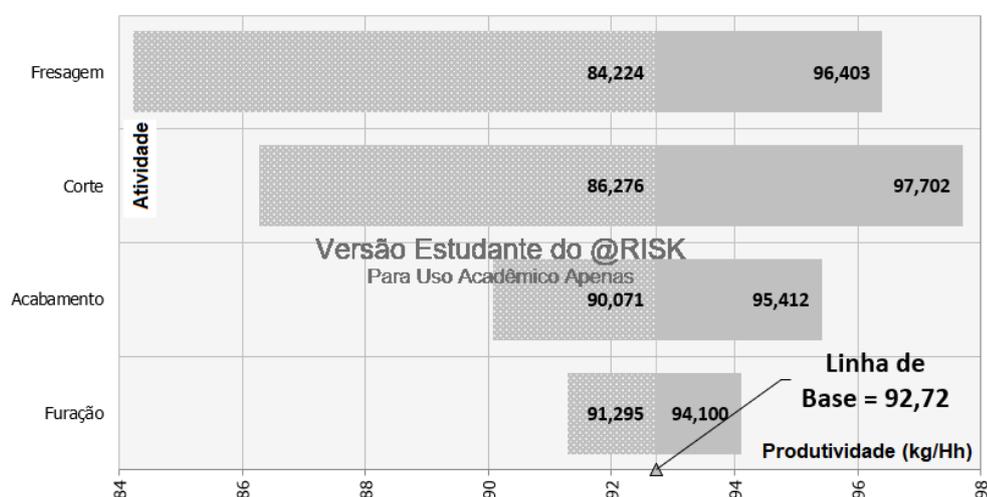


Figura 54 - Impacto das atividades do processo produtivo das fôrmas de alumínio Canto Interno na média da Produtividade do Processo (PP)

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Para Tabim *et al.*, (2016) a análise de sensibilidade conduzida através do gráfico de Tornado e realizada com base no modelo desenvolvido para avaliar o comportamento da produtividade intrínseca permite detectar quais as atividades têm maior impacto na mesma. Desta forma, é possível estabelecer a ordem de prioridade das ações a serem tomadas para a melhorar a produtividade. Ney (2016) descreveu que a análise de sensibilidade pelo gráfico

Tornado, permite avaliar a influência das variáveis na média. Conforme classificação dos valores nas barras de tonalidade escuram que indicam um “input” baixo, porquanto, as barras em tonalidade claro indicam “input” alto.

4.2 OCIOSIDADE

4.2.1 Comportamento da ociosidade

Foram considerados dois métodos para a coleta de dados para a ociosidade: via cartas de amostragem (dados de campo) e entrevistas aos encarregados, técnicos e engenheiros.

4.2.1.1 Determinação da ociosidade via dados de campo

A ociosidade real foi obtida através da coleta de dados via cartas de amostragem (dados de campo). Foram coletados 4720 pontos durante um período de 3 meses. Observou-se que 25,08% do tempo os colaboradores estão executando alguma atividade que gera ociosidade e nos outros 74,92% do tempo os colaboradores estão ocupados e envolvidos com as atividades do processo de fabricação.

4.2.1.1.1 Comportamento da função ociosidade

A partir dos dados coletados e compilados, construiu-se os a função ociosidade, conforme o modelo estabelecido no item 2.3.2, submetendo-se o modelo à simulação de Monte Carlo. A curva FPA da função ociosidade (FO) é apresentada na figura 55, sendo que neste caso, também se adotou o intervalo de confiança entre 5 a 95%. As principais estatísticas dos resultados da curva gerada via simulação são apresentadas na tabela 34.

Tabela 34 - Principais Estatísticas da Função Ociosidade (FO)

Média (kg/Hh)	Moda (kg/Hh)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV)
0,24	0,23	0,05	0,21

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

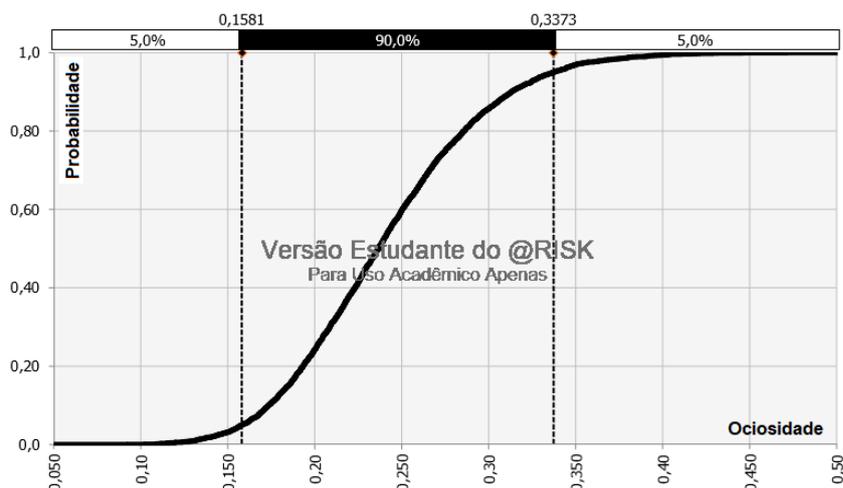


Figura 55 - Comportamento da FPA da Função Ociosidade (FO) da Fábrica

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

4.2.1.1.2 Validação da ociosidade

A validação do modelo de ociosidade ocorreu comparando a curva de probabilidade acumulada da ociosidade com os dados reais coletados pela carta de amostragem. A carta de amostragem indicou ociosidade real na indústria em 25,08%, obtendo um somatório total de 4720 pontos observados (Ocioso + ocupado). A média da curva de probabilidade acumulada obtida através da simulação de Monte Carlo foi de 24,05%.

Os limites de confiança propostos por Adrian (2004), representado pela tabela 35, permitiram validar o modelo estatístico desenvolvido nesse trabalho.

Tabela 75 - Limites de confiança

Limites de confiança propostos por Adrian (2004)					
Tamanho da amostra requerido para o limite de confiança de 90%					
Proporção da categoria (%)	Limites de Erro (%)				
	1	3	5	7	10
50	6763	751	270	138	68
40/60	6492	721	260	132	65
30/70	5681	631	227	116	57
20/80	4328	481	173	88	43
10/90	2435	271	97	50	24
1/99	268	30	11	5	3

Fonte: Adaptado pelo Autor (ADRIAN, 2004, p.219).

Utilizou-se a tabela 35 (90% intervalo de confiança) e adotou-se uma proporção 20/80. A amostra contém 4720 itens e é superior aos 4328, que equivale a um limite de erro de 1%. Porém, caso adote-se uma proporção de 30/70, a amostra que é de 4720 itens passaria a ser inferior aos 5681 e superior a 631, que equivale a um limite de erro de 3%. Como a amostra obteve uma proporção de 25/75 (ocioso/ocupado), considerou-se um limite de erro médio de 1,5%.

Pode-se concluir que em um intervalo de confiança de 90% a equipe está de 23,5 a 26,5% ociosa e o modelo proposto nesse trabalho obteve uma ociosidade estimada de 24,05%. Dessa forma, observa-se que o modelo proposto está dentro dos limites de confiança e com isso, o modelo estatístico desenvolvido para a medição da ociosidade está validado.

Assim como Ney (2016), os limites de confiança apresentados por Adrian (2004) também permitiram validar o experimento. Ney (2016) teve como base os valores médios determinados na carta de amostragem e a aferição do erro limite determinado proposto por Adrian (2004).

4.2.1.1.3 Fatores de impacto da ociosidade

Para conhecer os fatores que mais impactam na ociosidade, utilizou-se a análise de sensibilidade do gráfico do tipo Tornado desvio da média, conforme figura 56. Esse gráfico permite avaliar o impacto de cada evento na ociosidade.

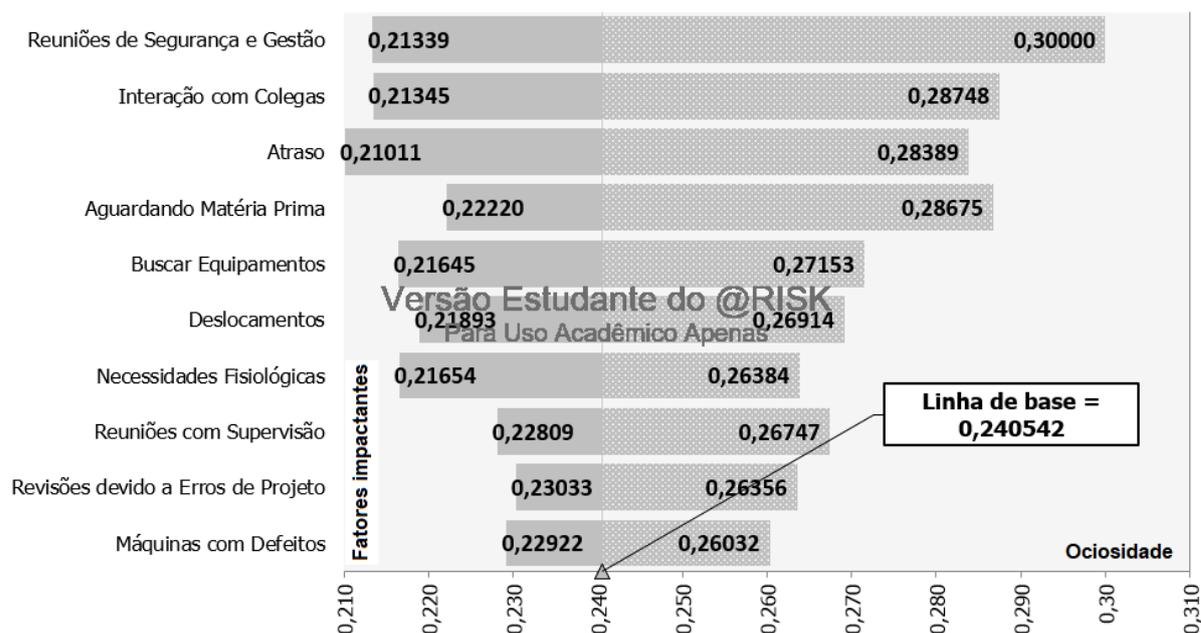


Figura 56 - Impacto dos eventos geradores de paralização da produção na ociosidade da fábrica

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Observa-se que as reuniões de segurança e gestão é a principal atividade para aumentar a ociosidade na empresa, podendo elevar a ociosidade em até 30,00%. Apesar da importância dessa atividade para melhorar o ambiente de trabalho, os gestores devem ficar atentos pois é decisiva para potencializar os resultados.

Esse resultado é semelhante ao encontrado pelos autores Durdyev, Ismail e Kandymov (2018). Eles realizaram uma pesquisa através de um questionário para identificar os principais fatores que prejudicam a produtividade do trabalho da construção civil na Malásia. O assunto Gestão e controle ficou em primeiro lugar (DURDYEV; ISMAIL; KANDYMOV, 2018). O autores Hickson e Ellis (2014) elaboraram um questionário com os principais fatores que afetam a produtividade em Trinidad and Tobago e os fatores relacionados a gestão tiveram grande destaque em sua pesquisa. (HICKSON; ELLIS, 2014).

De acordo com El-Gohary e Aziz (2013) os fatores relacionados à gestão também tem grande influência sobre a produtividade do trabalho na construção civil do Egito. (EL-GOHARY; AZIZ, 2013).

Dessa forma, observa-se que reuniões de segurança e gestão são fatores aumenta a ociosidade na indústria da construção civil e essa questão pode ser observada em diversos

artigos internacionais. Isto posto, percebe-se que esse quesito deve ter uma atenção especial por parte dos gestores.

4.2.1.2 Determinação da ociosidade via especialistas

O segundo método utilizado para coleta de dados foi a entrevista subjetiva através das entrevistas aos encarregados, técnicos e engenheiros. Foram entrevistados 3 (três) especialistas, conforme figura 57. Os eventos que geram ociosidade foram listados e quantificados.

Avaliação do especialista		Avaliação do especialista		Avaliação do especialista	
Fatores que impactam na produtividade global	(%)	Fatores que impactam na produtividade global	(%)	Fatores que impactam na produtividade global	(%)
Atraso	9,00%	Atraso	5,00%	Atraso	9,00%
Falta	4,00%	Falta	5,00%	Falta	5,00%
Buscar equipamentos	4,00%	Buscar equipamentos	5,00%	Buscar equipamentos	2,00%
Buscar ou trocar EPI	2,00%	Buscar ou trocar EPI	1,00%	Buscar ou trocar EPI	1,00%
Limpeza e arrumação da área de trabalho	2,00%	Limpeza e arrumação da área de trabalho	2,00%	Limpeza e arrumação da área de trabalho	1,00%
Aguardando matéria-prima	5,00%	Aguardando matéria-prima	10,00%	Aguardando matéria-prima	10,00%
Interação colegas	5,00%	Interação colegas	3,00%	Interação colegas	1,00%
Sala supervisão	1,00%	Sala supervisão	1,00%	Sala supervisão	1,00%
Máquina com defeito	10,00%	Máquina com defeito	6,00%	Máquina com defeito	10,00%
Aguardando OP (ordem de produção)	1,00%	Aguardando OP (ordem de produção)	1,00%	Aguardando OP (ordem de produção)	1,00%
Necessidades fisiológicas e beber água	10,00%	Necessidades fisiológicas e beber água	5,00%	Necessidades fisiológicas e beber água	5,00%
Deslocamentos	3,00%	Deslocamentos	4,00%	Deslocamentos	3,00%
Reuniões de segurança e gestão	7,00%	Reuniões de segurança e gestão	5,00%	Reuniões de segurança e gestão	3,00%
Falta de energia elétrica	6,00%	Falta de energia elétrica	5,00%	Falta de energia elétrica	4,00%
Interrupção das atividades devido à movimentação d	1,00%	Interrupção das atividades devido à movimentação de	2,00%	Interrupção das atividades devido à movimentação d	0,00%
Atraso e revisão de projeto	30,00%	Atraso e revisão de projeto	40,00%	Atraso e revisão de projeto	44,00%

Figura 57 - Avaliação dos especialistas – Ociosidade

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

No caso das estimativas subjetivas (entrevistas), foram utilizadas a distribuição uniforme e triangular como funções geratrizes.

4.2.1.2.1 Comportamento adotando a Função Uniforme como Geratriz

Para a função uniforme utilizou-se a Função Uniforme RiskUniform e formam considerados os seguintes valores: Mínimo igual a 0,30 e Máximo igual a 0,44. Dessa forma, o resultado da média foi: 0,37, conforme figura 58.

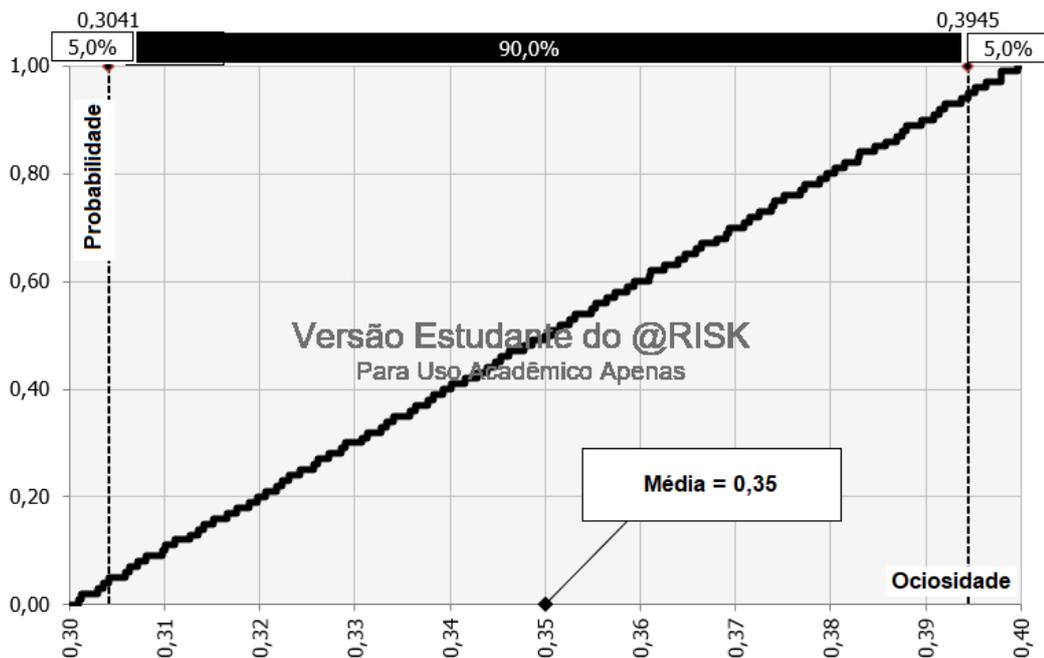


Figura 58 - Curva de probabilidade acumulada adotando a função Uniforme como geratriz

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

4.2.1.2.2 Comportamento adotando a Função Triangular como Geratriz

Para a função triangular utilizou-se a função contínua RiskTriang e foram considerados os seguintes valores: Mínimo igual a 0,30, Mais provável igual a 0,40 e Máximo igual a 0,44. Dessa forma, o resultado da média foi de: 0,38, conforme figura 59.

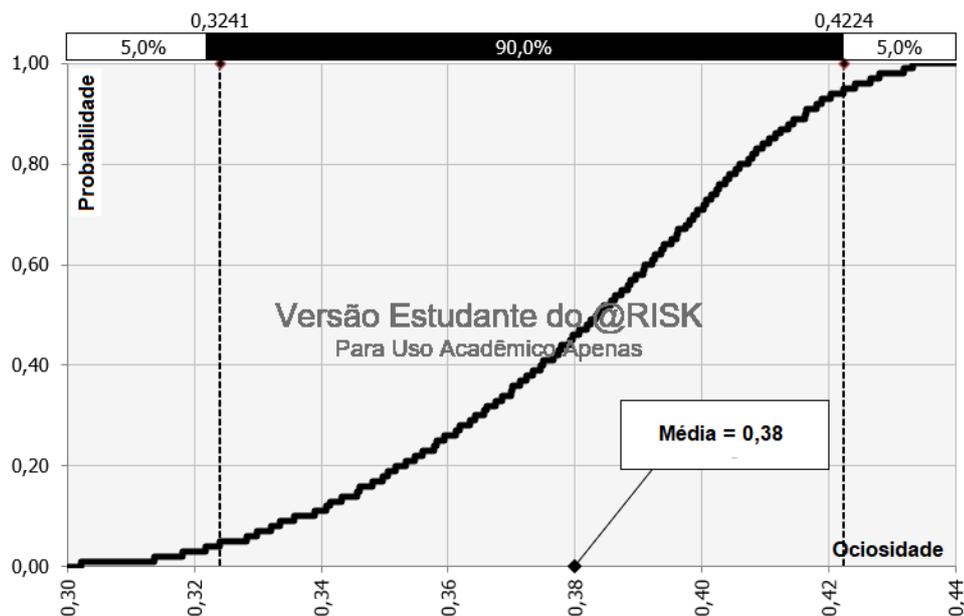


Figura 59 - Curva de probabilidade acumulada adotando a função triangular como geratriz

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

4.2.1.3 Análise comparativa da ociosidade via dados de campo e através dos especialistas

Dessa forma, realizou-se a sobreposição dos gráficos obtidos (ociosidade obtida em campo, ociosidade obtida através dos especialistas) e o resultado está apresenta na figura 60.

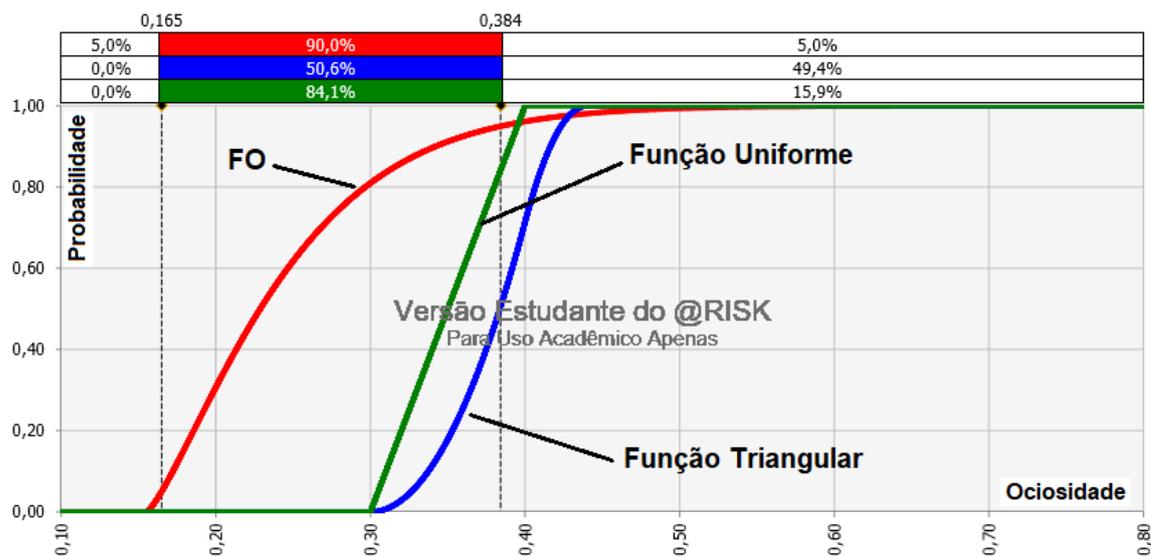


Figura 60 - Sobreposição das ociosidades

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

As principais estatísticas dos resultados das curvas de ociosidade estão apresentadas na tabela 36.

Tabela 36 - Principais Estatísticas das curvas de ociosidade

Curva	Média (kg/Hh)	Moda (kg/Hh)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV)
FO	0,24	0,23	0,05	0,21
Função Uniforme	0,35	0,31	0,03	0,10
Função Triangular	0,38	0,40	0,03	0,07

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

A sobreposição dos gráficos serve para comparar a realidade que acontece na indústria com a entrevista subjetiva realizada com os especialistas. Observa-se que as curvas FPA dos dados coletados em campo está deslocada para trás em relação a FPA dos dados coletados pela entrevista subjetiva. Através da tabela 36, observa-se que a opinião dos especialistas é conservadora, ou seja, a ociosidade real dos operários é menor do que os especialistas acreditam. Com isso, verifica-se que a opinião dos especialistas é exagerada no quesito ociosidade.

4.3 PRODUTIVIDADE GLOBAL

4.3.1 Produtividade global estimada

O modelo estatístico após a simulação de Monte Carlo permitiu obter um gráfico de curva de probabilidade acumulada (FPA) para cada um dos três produtos selecionados inicialmente. O modelo foi obtido a partir da ociosidade determinada via dados de campo. Os resultados estão expressos pela figura 61, figura 62 e figura 63.

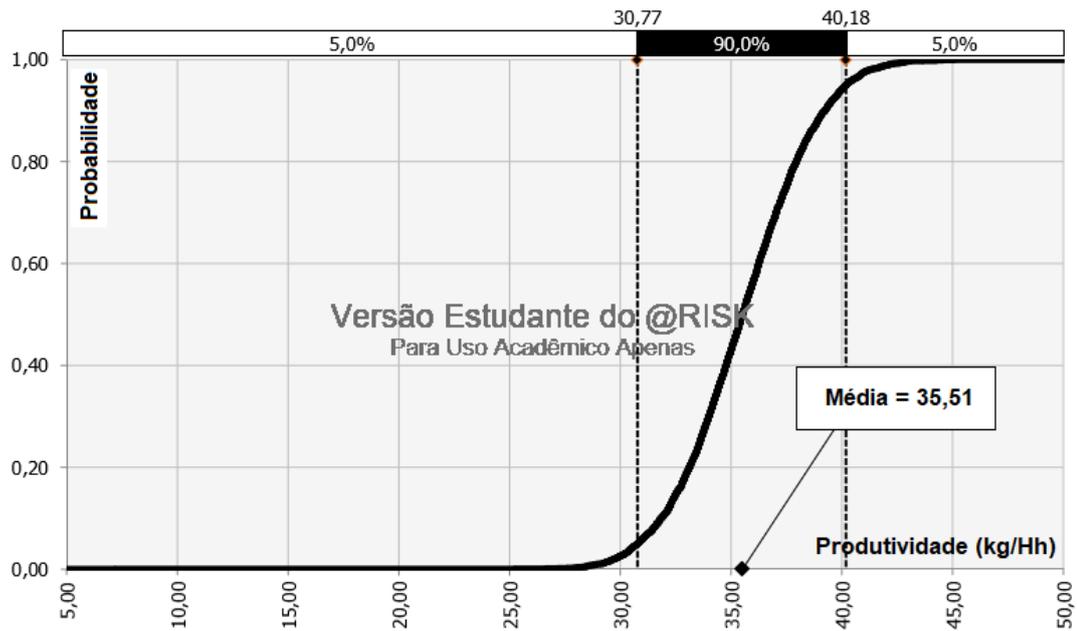


Figura 61 - FPA Global estimada Forma 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

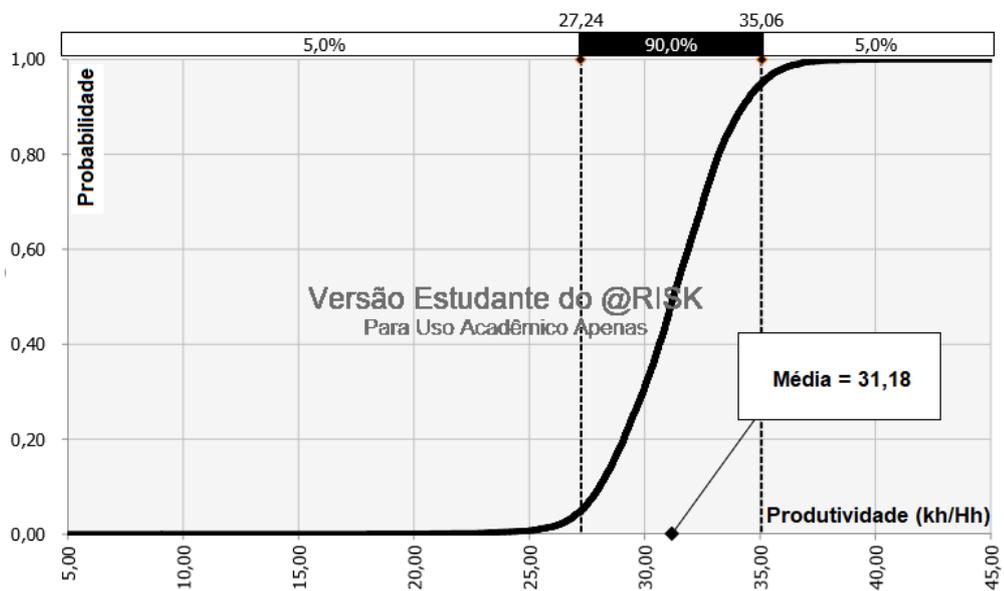


Figura 62 - FPA Global estimada Forma 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

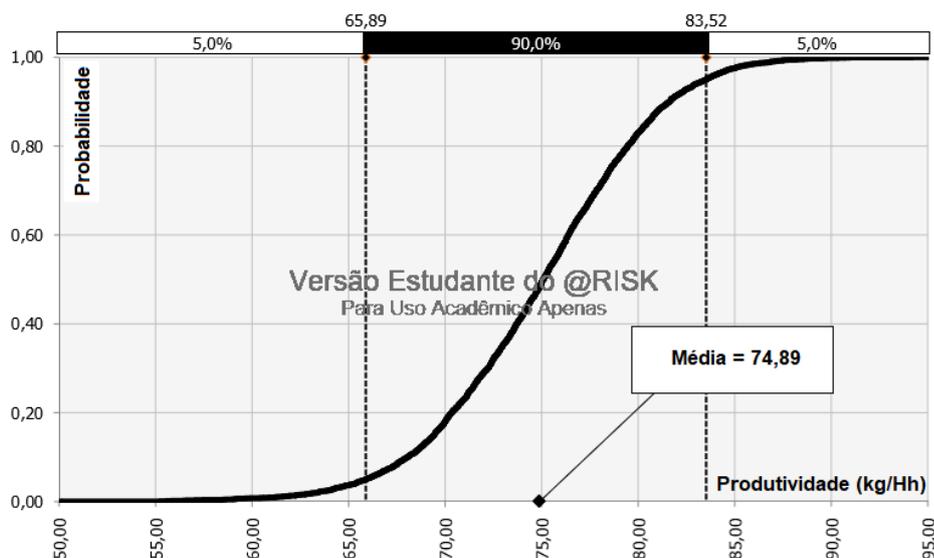


Figura 63 - FPA Global estimada Canto Interno 100x1800mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

As principais estatísticas dos resultados das curvas de produtividade global estimada estão apresentadas na tabela 37.

Tabela 37 - Principais Estatísticas das curvas de produtividade global estimada

Forma	Média (kg/Hh)	Moda (kg/Hh)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV)
Forma 600x2400mm	35,51	36,16	2,89	0,08
Forma 500x2400mm	31,17	30,51	2,48	0,08
Canto Interno 100x1800mm	74,89	74,34	5,42	0,07

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

4.3.2 Validação da Produtividade Global Estimada

Nesse item será comparado e analisado as produtividades globais reais (PGR) de cada produto com suas respectivas produtividades globais estimadas (PGE). A PGE foi desenvolvida no item 4.3.2 e os dados da PGR foram processados conforme item 2.3.4.4 do capítulo da metodologia e as curvas obtidas estão apresentadas pela figura 64, figura 65 e figura 67.

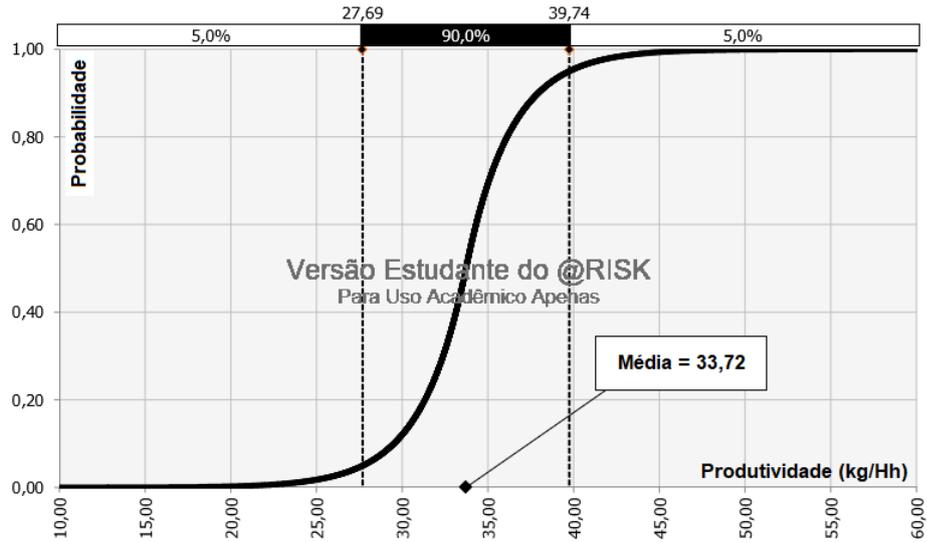


Figura 64 - Produtividade global real apropriada - Fôrma 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

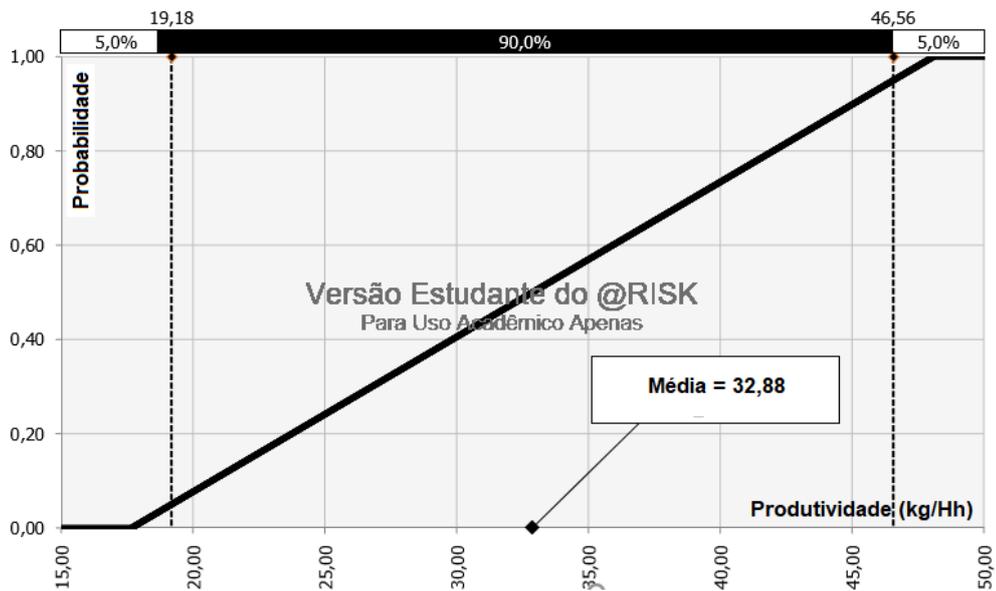


Figura 65 - Produtividade global real apropriada - Fôrma 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

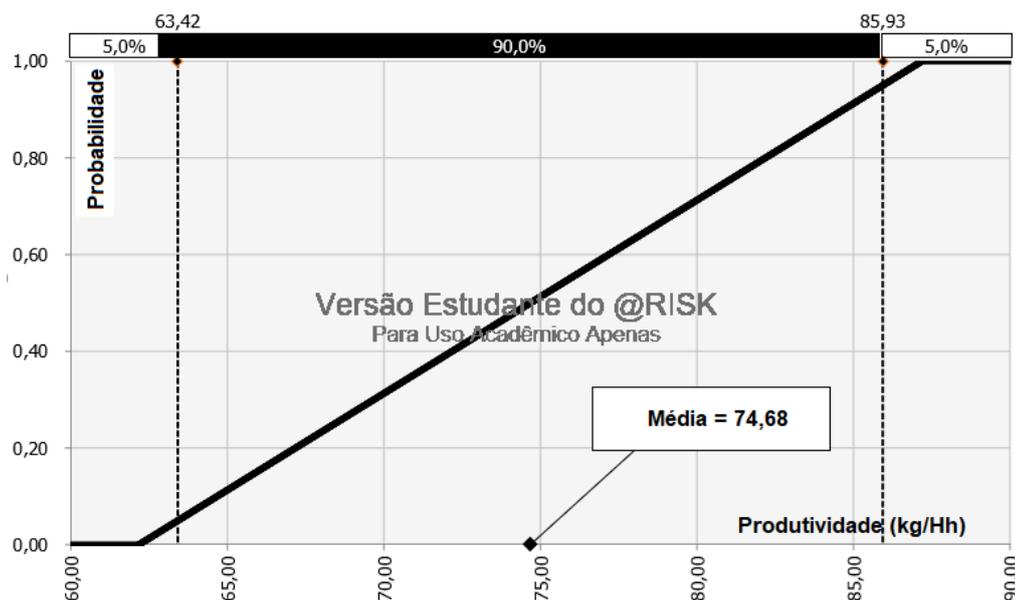


Figura 66 - Produtividade global real apropriada - Fôrma Canto Interno

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

As principais estatísticas dos resultados das curvas de produtividade global real apropriada estão apresentadas na tabela 38.

Tabela 38 - Principais Estatísticas das curvas da PGR

Forma	Média (kg/Hh)	Moda (kg/Hh)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV)
Forma 600x2400mm	33,72	33,75	3,70	0,11
Forma 500x2400mm	32,88	39,72	8,78	0,27
Canto Interno 100x1800mm	74,68	76,80	7,23	0,10

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2021).

Utilizou-se essas informações para comparar com as curvas da produtividade global estimada. Para facilitar a análise, realizou-se a sobreposição das curvas (produtividade global real x produtividade global estimada), conforme a figura 67, figura 68 e figura 69.

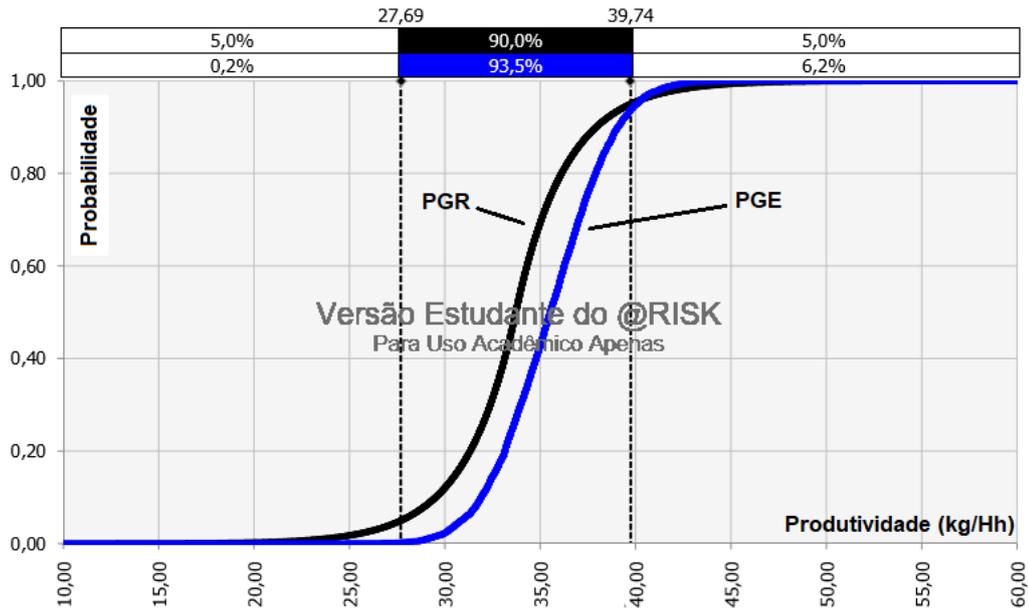


Figura 67 - Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Fôrma 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

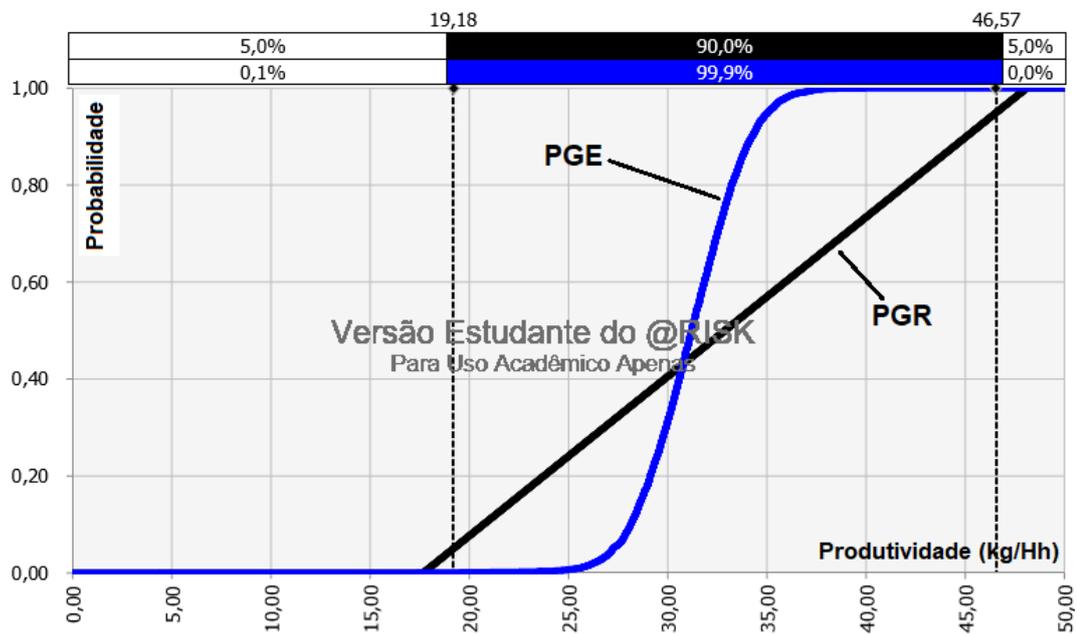


Figura 68 - Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Fôrma 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

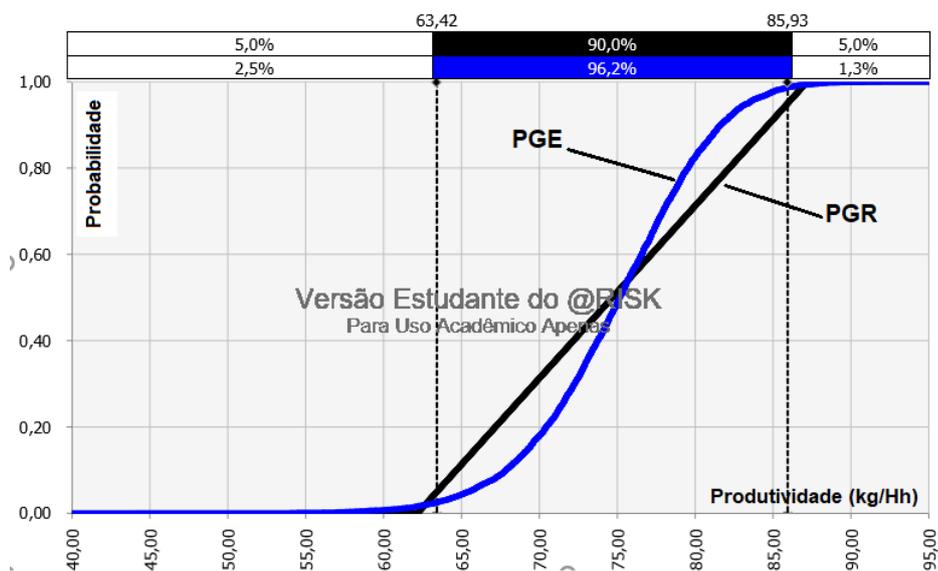


Figura 69 - Sobreposição da curva da PGE com a PGR – Canto Interno

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Para permitir uma maior precisão na análise dos resultados, buscou-se apresentar também as sobreposições das funções de densidade de probabilidade de cada equipamento, conforme figura 70, figura 71 e figura 72.

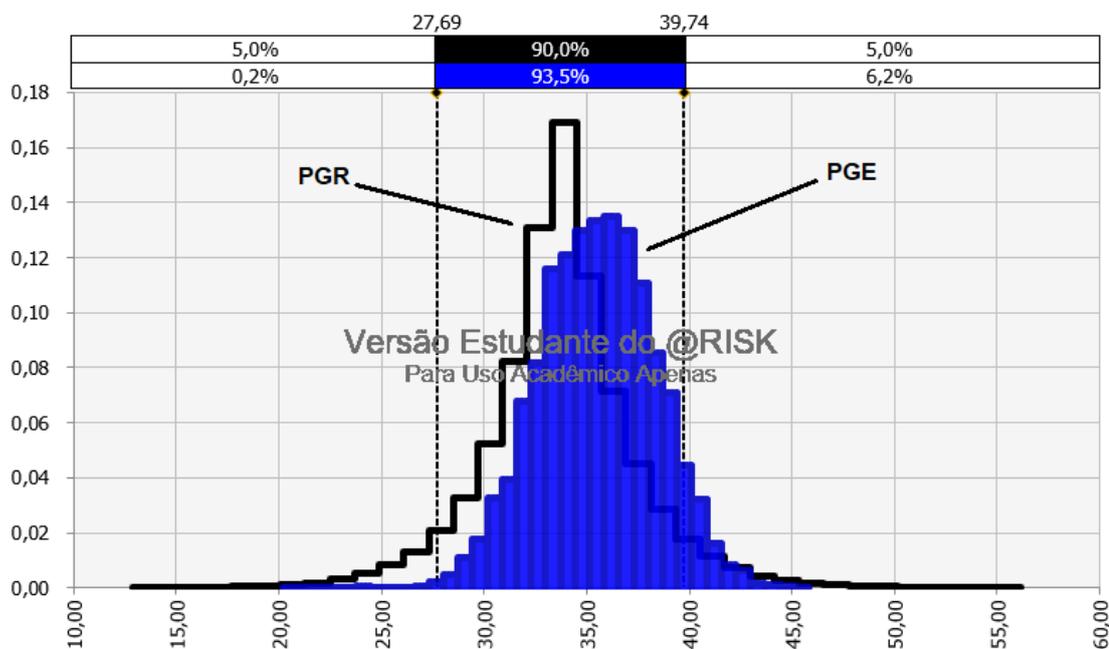


Figura 70 - Função de densidade de probabilidade – Fôrma 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

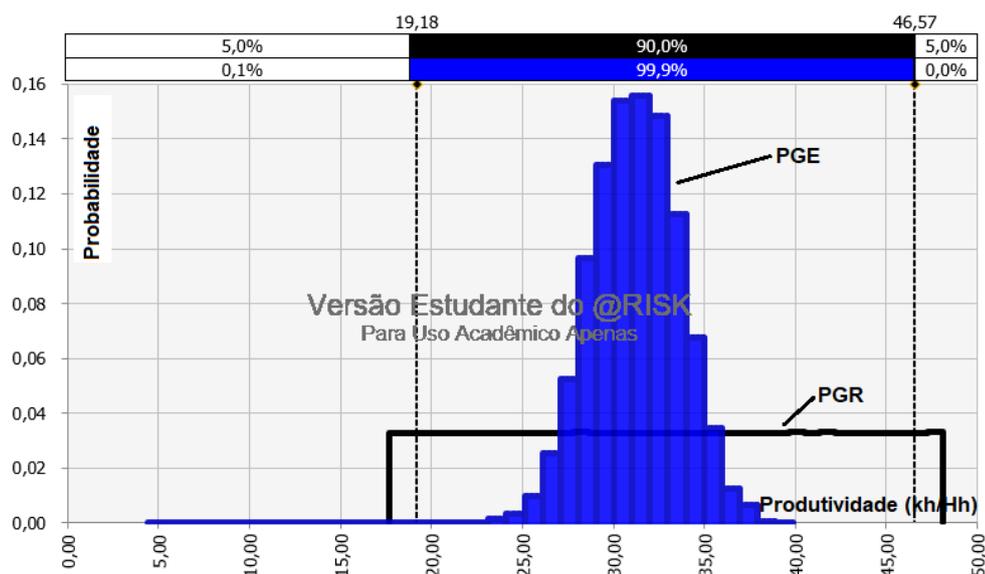


Figura 71 - Função de densidade de probabilidade – Fôrma 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

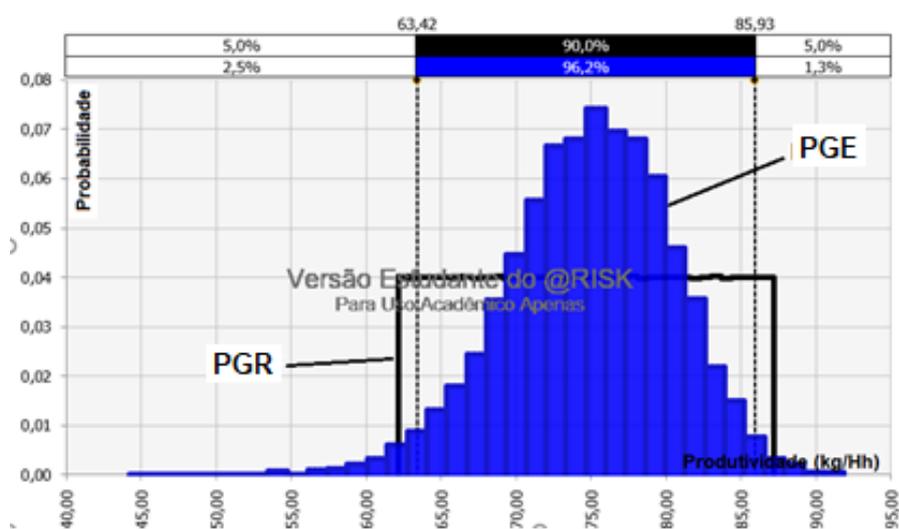


Figura 72 - Função de densidade de probabilidade – Canto Interno

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

Observando-se a figura 67, figura 68, figura 69, figura 70, figura 71 e figura 72, nota-se que para os três produtos se atingiu uma boa aderência entre a PGE e PGR, indicando que o modelo desenvolvido para a PGE e processado através da simulação de Monte Carlo, que é uma função composta entre as produtividades do processo (PP) e a ociosidade (FO), foi bem-sucedido. Cabe destacar, que não existem na literatura referências que possibilitem comparação com os resultados obtidos para este tipo de produto. Entretanto, Tabim (2013)

desenvolveu uma metodologia semelhante para estimativa da produtividade na soldagem de dutos, que também apresentou resultados satisfatórios.

Os resultados da tabela 37 e da tabela 38 reforçam a boa aderência entre as funções PGE e PGR, onde se verifica que as diferenças entre a média e a moda das duas funções são reduzidas. Por outro lado, os valores de CV para as duas funções indicam que a variabilidade das funções é baixa, o que não era esperado, pois, a incorporação na PGE da ociosidade (FO) tende a aumentá-los. Estes resultados apresentam uma tendência oposta aos resultados obtidos nos trabalhos de Tabim (2013) e Gióia (2015) onde o impacto da ociosidade nos valores de CV é significativo. Entretanto, convém ressaltar que, os trabalhos desenvolvidos por estes autores foram realizados em canteiro de obras, onde as médias das ociosidades detectadas são superiores às registradas no presente artigo, registrando valores superiores a 0,40. Neste sentido, o impacto da ociosidade na produtividade global nestes casos é bem mais significativo.

Dessa forma, os resultados obtidos através da simulação de Monte Carlo mostram-se suficientes para validar o experimento no quesito produtividade global. Para conhecer os fatores que mais impactam na produtividade global, utilizou-se a análise de sensibilidade do gráfico do tipo Tornado desvio da média, conforme figura 73, figura 74 e figura 75. Esse gráfico permite avaliar o impacto de cada evento na produtividade.

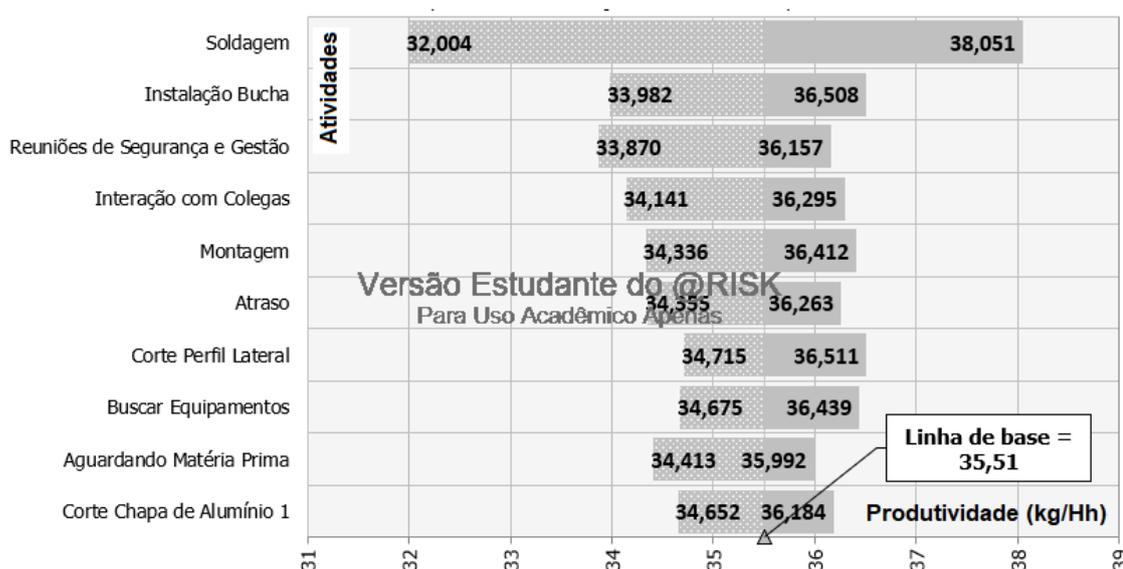


Figura 73 - Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma 600x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

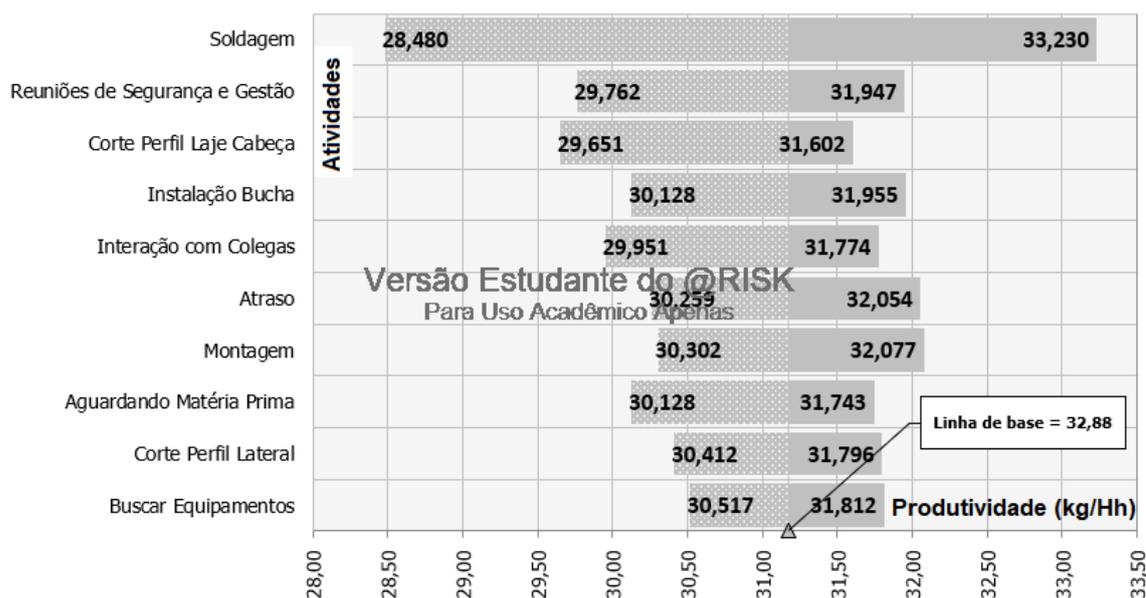


Figura 74 - Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma 500x2400mm

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

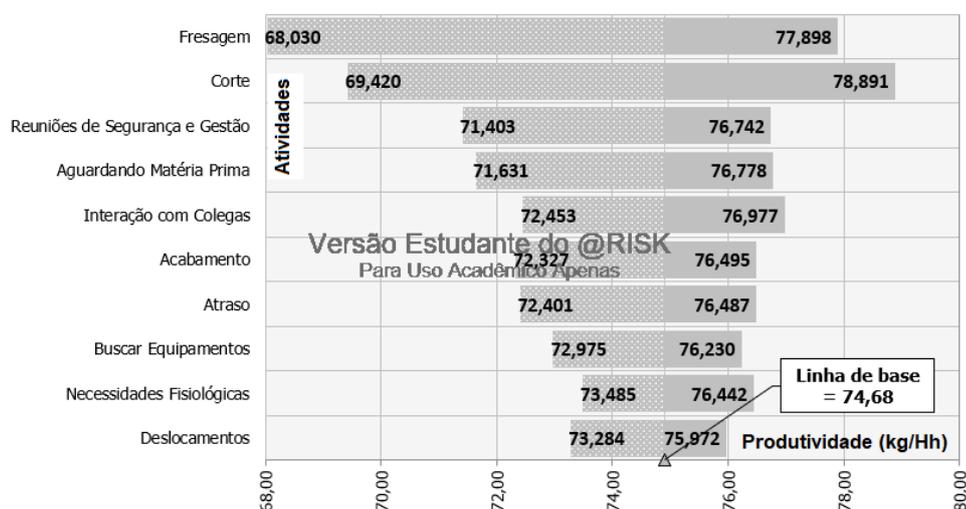


Figura 75 - Gráfico de Tornado - Produtividade global estimada - Forma Canto Interno

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (“@risk”, 2021).

A figura 74 apresenta o resultado da análise de sensibilidade da função PGE da produção das fôrmas de alumínio 600x2400mm, através do “gráfico de tornado desvio da média”. No gráfico é possível observar que as atividades de “Soldagem”, “Instalação de Buchas” e “Reuniões de Segurança e Gestão” são, nesta ordem, os fatores de maior impacto no aumento ou redução da média da PGE. Destaca-se que entre estas três variáveis, as atividades de “Soldagem” e “Instalação de Buchas” compõem a função produtividade do

processo (PP). A variável “Reuniões de Segurança e Gestão” é um dos componentes da função ociosidade (FO). Embora, conforme já se mencionou anteriormente, os trabalhos de Tabim (2013) e Gióia (2015) desenvolveram metodologias semelhantes para estudos envolvendo a soldagem de dutos e tubulações industriais. Entretanto, ao contrário dos resultados do presente artigo, as variáveis de maior impacto na redução e aumento da produtividade global, naqueles trabalhos, são as que compõem a ociosidade. Cabe destacar, como já se mencionou anteriormente, que os trabalhos de Tabim (2013) e Gióia (2015) foram desenvolvidos em canteiro de obras, com níveis de ociosidade médios superiores a 0,40, ao passo que nesta dissertação a média da FO é 0,24 e a moda 0,25 e foi desenvolvido em uma fábrica.

A figura 75 apresenta o resultado da análise de sensibilidade da função PGE da produção das fôrmas de alumínio 500x2400mm, através do “gráfico de tornado desvio da média”. No gráfico é possível observar que as atividades de “Soldagem”, “Reuniões de Segurança e Gestão” e “Corte Perfil Laje Cabeça” são, nesta ordem, os fatores de maior impacto no aumento ou redução da média da PGE. Destaca-se que entre estas três variáveis, as atividades de “Soldagem” e “Corte Perfil Laje Cabeça” compõem a função produtividade do processo (PP). A variável “Reuniões de Segurança e Gestão” é um dos componentes da função ociosidade (FO).

A figura 76 apresenta o resultado da análise de sensibilidade da função PGE da produção das fôrmas de alumínio – canto interno. No gráfico se observa que as atividades de “Fresagem”, “Corte” e “Reuniões de Segurança e Gestão” são, nesta ordem, os fatores de maior impacto no aumento ou redução da média da PGE. Destaca-se que entre estas três variáveis, as atividades de “Fresagem” e “Corte” compõem a função produtividade do processo (PP). A variável “Reuniões de Segurança e Gestão” é um dos componentes da função ociosidade (FO). Os resultados da análise de sensibilidade são semelhantes aos obtidos para a PGE referente a produção das fôrmas de alumínio.

Assim, se verifica que na produção dos três produtos, os fatores de impacto na PGE mais significativos, correspondem as atividades que compõem a função produtividade do processo (PP). Este comportamento é o oposto as conclusões de Tabim (2013) e Gióia (2015), onde os fatores de maior impacto na produtividade global são aqueles que compõem a função ociosidade. Destacando-se, conforme já discutido anteriormente, que estes trabalhos foram desenvolvidos em canteiros de obras, onde a ociosidade apresenta valores, significativamente, superior.

Dessa forma, os resultados da análise de sensibilidade, via gráfico de tornado, apresentados nas figura 74, figura 75 e figura 76, para os três processos produtivos permitem que as ações do gerenciamento da produção sejam focadas nas variáveis de maior impacto na produtividade.

5 CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados obtidos através do modelo proposto para a monitoração e estimativa da produtividade para a fabricação das fôrmas de alumínio utilizadas no método construtivo Paredes de Concreto apresentou resultados convincentes para validar a metodologia adotada neste trabalho. O experimento foi dividido em três partes: Produtividade intrínseca; ociosidade e produtividade global.

Na produtividade intrínseca, obteve-se como resultado as curvas de função de probabilidade acumulada (FPA) dos três produtos analisados. Essas curvas permitiram avaliar o comportamento da produtividade e as probabilidades de ocorrência. Em seguida, aplicou-se o teste de sensibilidade para conhecer as atividades que potencializam ou minimizam a produtividade intrínseca.

Na ociosidade conheceu-se o comportamento da ociosidade através dos dados obtidos em campo e dos dados obtidos mediante entrevista subjetiva com os especialistas. Realizou-se a comparação dos mesmos e concluiu-se que os gestores têm uma visão conservadora em relação a ociosidade dos trabalhadores da indústria. Também foi possível concluir que o modelo proposto através da carta de amostragem é válido, pois, o resultado obtido atendeu aos limites mínimos e máximos propostos pela bibliografia.

Para a produtividade global, apresentou-se as FPA's e FDP's dos modelos propostos pelo experimento e em seguida, comparou-se essas imagens com os dos dados reais apropriados. Observou-se uma boa aderência entre as curvas da PGR e a PGE, indicando que o modelo desenvolvido para a estimativa da produtividade global, composto pelas funções produtividade do processo e da ociosidade utilizando a simulação Monte Carlo, foi bem-sucedido. Neste sentido, pode-se concluir que esta metodologia tem potencial de obter sucesso em outros processos produtivos. Os fatores de maior impacto na produtividade global dos processos produtivos dos produtos estudados neste trabalho, são relacionados à produtividade do intrínseca. Estes resultados, apresentaram tendência oposta aos trabalhos desenvolvidos em canteiros de obras, onde os eventos que geram ociosidade, são os de maior impacto na produtividade global. Destacando-se que no presente trabalho os dados de produtividade foram coletados numa fábrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAN, James J. **Construction Productivity: Measurement And Improvement**. Stipes Pub ed. [S.l.]: Bradley University, 2004.

AGARWAL, Reeti; MEHROTRA, Ankit. Extracting performance improvement factors using DEA for a robust Indian retail industry. **International Journal of Productivity and Quality Management**, Vol 30 No. 1, pp 107-125. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BIERMAN, Marius; MARNEWICK, Annlizé; PRETORIUS, Jan-Harm. Productivity Management in the South African Civil Construction Industry – factors affecting construction productivity. **Journal of the South African Institution of Civil Engineering**, v. 58, n. 3, p. 37–44, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309168655_Productivity_management_in_the_South_African_civil_construction_industry_-_Factors_affecting_construction_productivity>. Acesso em: 04/06/2020.

BITTENCOURT, Danilo Soares; MIORANDO, Rogério; ROSSINI, Karina. **Análise de Controle Estatístico em um Processo Petroquímico**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014 Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/103741>>. Acesso em: 04/06/2020.

CHATURVEDI, Shobhit; THAKKAR, Jitesh J.; SHANKAR, Ravi. **Labor Productivity in Construction Industry: An Evaluation Framework for Causal Relationships**. Benchmarking: An International Journal, v. 25, n. 1, p. 334–356, 5 fev. 2018. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/BIJ-11-2016-0171>>. Acesso em: 2/04/2018.

CHEN, Yuan *et al.* Spatial analysis of change trend and influencing factors of total factor productivity in China 's regional construction industry. **Applied Economics**, p. 1–20, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00036846.2017.1409421?journalCode=raec20>>. Acesso em: 04/06/2020.

DA SILVA, Fernando Partica; KRÜGER, José Adelino; XAVIER, Antonio Augusto de Paula. Aplicação Do Método Owas No Transporte E Manuseio De Para Construção De Casas in Loco : Um Estudo De Caso. **XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, p. 1–14, 2010. Disponível em: <<http://pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/ebook/2010/CONGRESSOS/ENEGERP/46.pdf>>. Acesso em: 04/06/2020.

DE MORAIS LUZ, Janayna Rodrigues; DE CARVALHO, José Ribamar Marques; CAVALCANTI, Paulo Roberto Nóbrega Cavalcante. Aplicação da análise fatorial na identificação dos fatores de custos da qualidade das empresas do setor de construção civil de

Campina Grande , PB. **Revista Capital Científico-Eletrônica**, v. 13, n. 3, p. 28–44, 2015. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/capitalcientifico/article/view/3051>>. Acesso em: 04/06/2020.

DE OLIVEIRA, Camila C.; GRANATO, Daniel; CARUSO, M. S. F; SAKUMA, A. Momoyo. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. 2013. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. Disponível em: <http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/manual-carta-controle_ial_2013.pdf>. Acesso em: 04/06/2020.

DE OLIVEIRA, Josenildo Brito. Rastreamento o custo oculto de inatividade numa empresa de serviços: A contribuição da amostragem do trabalho como método para medida de tempos improdutivos. **Belo Horizonte: XIII Congresso Brasileiro de Custos**. 2006. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/1694/1694>>. Acesso em: 04/06/2020.

DURDYEV, Serdar; ISMAIL, Syuhaida. On-site construction productivity in Malaysian infrastructure projects. **Structural Survey**, v. 34, n. 4/5, p. 446–462, 2016. Disponível em: <<https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/SS-12-2015-0058?journalCode=ss>>. Acesso em: 04/06/2020.

DURDYEV, Serdar; ISMAIL, Syuhaida; KANDYMOV, Nurmurat. Structural Equation Model of the Factors Affecting Construction Labor Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 4, 2018. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001452>>. Acesso em: 04/06/2020.

EL-GOHARY, Khaled Mahmoud; AZIZ, Remon Fayek. Factors Influencing Construction Labor Productivity in Egypt. **Journal of Management in Engineering**, v. 30, n. 1, p. 1–9, 2013. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000168>>. Acesso em: 04/06/2020.

FAYEK, A. R. ‘Fuzzy logic and fuzzy hybrid techniques for construction engineering and management’. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol 146 No. 7, pp. 04020064. 2020.

FERREIRA, Miguel Luiz Ribeiro; CONSTANCIO, Diogo; MARTINS, José Luiz Ferreira. Monitoring productivity in industrial welding pipes by Monte Carlo method. **21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering**, v. 16, n. 3, p. 204–212, 2011. Disponível em: <<http://abcm.org.br/app/webroot/anais/cobem/2011/PDF/123701.pdf>>. Acesso em: 04/06/2020.

FERREIRA, Miguel Luiz Ribeiro; TABIM, Pedro Mattos. Productivity Monitoring of Land Pipelines Welding via Control Chart Using the Monte Carlo Simulation. **Journal of Software Engineering and Applications**, v. 8, p. 539–548, 2015. Disponível em: <<https://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=60399>>. Acesso em: 04/06/2020.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; FALCÃO, Antônio S. Galino; KRUMMENAUER, Luiz

Alberto; MULLER, Antônio F. Procedimento de monitoramento do desempenho de equipes de eletricitas e do custo de atividades em redes de transmissão elétrica através de cartas de controle estatístico de processo. Ouro Preto, MG.: **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto. ENEGEP.** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0115_1767.pdf>. Acesso em: 04/06/2020.

GIÓIA, A. L. **Fatores de Impacto na Soldagem de Tubulações Industriais.** Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2015.

GOLNARAGHI, S.; MOSELHI, O.; ALKASS, S; ZANGENEHMADAR, Z. Modelling construction labour productivity using evolutionary polynomial regression. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 31, n. 2, p. 207-226, 2020.

GOOGLE EARTH-MAPAS. <Http://mapas.google.com>. Consulta realizada em 01/01/2021.

BARRETO, Lucas Novaes. **Estimativa da Produtividade na Fabricação de Tubulações Industriais com Aplicação da Simulação de Monte Carlo.** Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2017.

GOMES, Leandro Faria; ANDRADE, Melina Teixeira. Viabilidade econômica de construção de casas populares em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Revista iPecege**, v. 2, n. 2, p. 89–102, 2016. Disponível em: <<https://revista.ipecege.com/Revista/article/view/51>>. Acesso em: 04/06/2020.

HICKSON, Brent G; ELLIS, Leighton A. Factors affecting Construction Labour Productivity in Trinidad and Tobago. **The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago**, v. 42, n. 1, p. 4–11, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258245754_Factors_affecting_Construction_Labour_Productivity_in_Trinidad_and_Tobago>. Acesso em: 04/06/2020.

IBBS, William; SUN, Xiaodan. Weather 's Effect on Construction Labor Productivity. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, v. 9, n. 2, p. 04517002, 2017. Disponível em: <[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000212](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000212)>. Acesso em: 04/06/2020.

JACOSKI, Claudio Alcides; LAMBERTS, Roberto. A interoperabilidade como fator de integração de projetos na construção civil. **II Workshop Nacional: Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios**, n. November, p. 6, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Lamberts/publication/259104713_A_interoperabilidade_como_fator_de_integracao_de_projetos_na_construcao_civil/links/0deec52e645192e7c3000000/A-interoperabilidade-como-fator-de-integracao-de-projetos-na-construca>. Acesso em: 04/06/2020.

KAPELKO, Magdalena; ABBOTT, Malcolm. Productivity Growth and Business Cycles :

Case Study of the Spanish Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 5, p. 05016026, 2017. Disponível em: <[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001238](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001238)>. Acesso em: 04/06/2020.

KAPLAN, Robert S; NORTON, David P. **A estratégia em ação: balanced scorecard**. 39. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997.

KISI, Krishna; MANI, Nirajan; ROJAS, Eddy M.; FOSTER, E. Terence.. A Case Study on Estimating Optimal Labor Productivity. **Construction Research Congress 2016**. 2016. Puerto Rico: [s.n.]. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784479827.176>>. Acesso em: 04/06/2020.

LANTELME, Elvira Maria Vieira. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil**. Porto Alegre, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, 1994. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/163597>>. Acesso em: 04/06/2020.

LOBATO, Marcos Müller. **Utilização de misturas com argônio e co2 na soldagem de arames tubulares em aço carbono astm A36**. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2015.

LOOSEMORE, Martin. Improving construction productivity: a subcontractor's perspective. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 3, p. 245–260, 2014. Disponível em: <<https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/ECAM-05-2013-0043>>. Acesso em: 04/06/2020.

MA, Le; LIU, Chunlu. Decomposition of temporal changes in construction labour productivity. **International Journal of Construction Management**, v. 18, n. 1, p. 65–77, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2016.1258755>>. Acesso em: 04/06/2020.

MACIEL, Tassia Henkes; BRANCO, Gabriela Musse; WERNER, Liane. Cartas De Controle Multivariadas: Estudo De Caso Em Vinícolas Italianas. **Cadernos do IME - Série Estatística**, v. 37, n. August 2015, p. 1–14, 2014. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/cadest/article/view/18277>>. Acesso em: 04/06/2020.

MAGALHÃES, Rachel Madeira. **A influência da gestão de subempreiteiros no cumprimento dos cronogramas em edificações verticais**. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2014.

MANI, Nirajan *et al.* Estimating Construction Labor Productivity Frontier: Pilot Study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 10, 2017. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001390>>. Acesso em: 04/06/2020.

MARANHÃO, George Magalhães. **Fôrmas para concreto: subsídios para a otimização do**

projeto segundo a NBR 7190/97. São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, USP, 2000. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23112017-144038/pt-br.php>>. Acesso em: 04/06/2020.

MARTINS, José Luiz Ferreira; FERREIRA, Miguel Luiz Ribeiro. **Aplicabilidade de simulação utilizando os métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino na estimativa de produtividade do processo de soldagem TIG.** Rio de Janeiro: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2013. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2013/PDFS/COBEF2013-0293.PDF>>. Acesso em: 04/06/2020.

MARTINS, Pedro Manuel Lourenço. **Avaliação da produtividade na construção no Brasil - O modelo de estratificação.** Porto, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, PORTO, 2013. Disponível em: <[https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/Teses2012_2013_2S/PedroMartins/Avaliacao produtividade brasil PedroMartins.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/Teses2012_2013_2S/PedroMartins/Avaliacao%20produtividade%20brasil%20PedroMartins.pdf)>. Acesso em: 04/06/2020.

MORADI, Saeed; NASIRZADEH, Farnad; GOLKHO, Farzaneh. Modeling Labor Productivity in Construction Projects using Hybrid SD-DES Approach. **Scientia Iranica**, v. 24, p. 2752–2761, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319308988_Modeling_Labor_Productivity_in_Construction_Projects_using_Hybrid_SD-DES_Approach>. Acesso em: 04/06/2020.

MOTLAGH, Milad Akhlaghi; VALMOHAMMADI, Changiz; MODIRI, Mahmoud. Developing a qualitative model of productivity for service companies using fuzzy analytic hierarchy process: a case study. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 29, n. 1, p. 126-147, 2020.

NASIRZADEH, F.; KABIR, H.M.D.; AKBARI, M.; KHOSRAVI, A.; NAHAVANDI, S.; CARMICHAEL, D.G. ANN-based prediction intervals to forecast labour productivity. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2020.

NASI, Hassan; HAAS, Carl T; RANKIN, Jeff H.; FAYEK, Aminah Robinson; FORGUES, Daniel; RUWANPURA, Janaka. Development and implementation of a benchmarking and metrics program for construction performance and productivity improvement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 39, n. 9, p. 957–967, 2012. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/l2012-030>>. Acesso em: 04/06/2020.

NEY, Diego Calvetti. **Avaliação da metodologia eletrônica para monitoramento do desempenho de soldadores na fabricação de tubulações.** Rio de Janeiro, 2016. Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2016.

OPRIME, P. Carlos; DE TOLEDO, José C.; GONZÁLEZ, M. O. A.; CHAKRABORTI, S. Método de estimativa dos limites da carta de controle não paramétrica que monitora simultaneamente a média e variância. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 1, p. 146–164, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2016000100146&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 04/06/2020.

PEREIRA, Agnes Cristina Winter. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**. Paraná, 2005. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, UFP, 2005. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/2561/dissertacaoovsFNNOV2005.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04/06/2020.

PRADHAN, Anu; AKINCI, Burcu. Planning-Based Approach for Fusing Data from Multiple Sources for Construction Productivity Monitoring. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 26, n. 4, p. 530–540, 2012. Disponível em: <[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000155](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000155)>. Acesso em: 04/06/2020.

RAD, Kiyanoosh Golchin; KIM, Soo-Yong. Factors Affecting Construction Labor Productivity: Iran Case Study. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, p. 1–16, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40996-018-0095>>. Acesso em: 04/06/2020.

RAOUFI, Mohammad; FAYEK, Aminah Robinson. ‘Fuzzy Monte Carlo Agent-Based Simulation of Construction Crew Performance’. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol 146 No. 5, pp 04020041, 2020.

RIVANKAR, Himanshu; CHORDIYA, Akshay. Aluminium Formwork Technology. **International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology**, v. 4, n. 4, p. 3720–3726, 2017. Disponível em: <<http://www.ijarset.com/upload/2017/april/7-IJARSET-Himan.pdf>>. Acesso em: 04/06/2020.

SASSERON, Ricardo Henrique. **Determinantes da produtividade : análise do impacto do índice GCI e seus componentes sobre a PTF**. Ribeirão Preto, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, USP, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-20102016-140527/es.php>>. Acesso em: 04/06/2020.

SHEHATA, Mostafa E.; EL-GOHARY, Khaled Mahmoud. Towards improving construction labor productivity and projects’ performance. **Alexandria Engineering Journal**, v. 50, n. 4, p. 321–330, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2012.02.001>>. Acesso em: 04/06/2020.

SOARES, Isabelle Oliveira; DE CARVALHO, Aline Werneck Barbosa; FILHO, Geraldo Browne Ribeiro; PINTO, Neide Maria de Almeida. Interesses especulativos, atuação do Estado e direito à cidade: o caso do programa “Minha Casa Minha Vida” em Uberaba (MG). **URBE. Revista Brasileira de gestao urbana**, v. 5, n. 1, p. 119–131, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.pucpr.br/index.php/Urbe/article/view/22085>>. Acesso em: 04/06/2020.

SONMEZ, Rifat; ROWINGS, James E. Construction labor productivity modeling with Neural Networks. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 6, p. 498–504, 1998. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281998%29124%3A6%28498%29>>. Acesso em: 04/06/2020.

Tabim, P. M., Ferreira, M. L. R., Morano, C. A. R. and Martins, J. L. F. Avaliação da produtividade da soldagem de dutos terrestres via simulação de Monte Carlo e análise de sensibilidade. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. XXXIII-w, n. 2316–4522, p. 19–27, 2016. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/vol_XXXIII_3tri_2016_web.html>. Acesso em: 04/06/2020.

Tabim, P. M. **Estimativa de Produtividade na Soldagem de Dutos Terrestres com Aplicação da Simulação de Monte Carlo**. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado em Montagem Industrial) - Universidade Federal Fluminense, UFF, 2013.

THOMAS, H. Randolph. Benchmarking Construction Labor Productivity. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 20, n. 4, p. 04014048, 2012. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29SC.1943-5576.0000141>>. Acesso em: 04/06/2020.

VAUX, James S; KIRK, W Max. Relationship Conflict in Construction Management: Performance and Productivity Problem. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 6, p. 04018032, 2018. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001478>>. Acesso em: 04/06/2020.

VOGL, Bernard; ABDEL-WAHAB, Mohamed. Measuring the Construction Industry's Productivity Performance: Critique of International Productivity Comparisons at Industry Level. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 4, p. 04014085, 2015. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000944>>. Acesso em: 04/06/2020.

WOO, Sungkwon. Simulation analysis of labor performance during overtime and impact on project duration. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 20, n. 7, p. 2614–2623, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-016-0956-9>>. Acesso em: 04/06/2020.

YI, Wen; CHAN, Albert P. C. Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Journals. **Journal of Management in Engineering**, v. 30, n. 2, p. 214–225, 2014. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000194>>. Acesso em: 04/06/2020.

ZHANG, Di. *An Internal Benchmarking and Metrics (BM&M) Model for Industrial Construction Enterprise to Understand the Impact of Practices Implementation Level on Construction Productivity*. Canada, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Waterloo, 2014. Disponível em: <https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/8447/Zhang_Di.pdf?sequence=3>. Acesso em: 04/06/2020.

ZHANG, Di; NASIR, Hassan; HAAS, Carl T. Development of an Internal Benchmarking and Metrics Model for Industrial Construction Enterprises for Productivity Improvement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 44, p. 518–529, 2017. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjce-2016-0274#.WuVBkojwZPY>>.

Acesso em: 04/06/2020.

ZHAO, Tong; DUNGAN, J. Mark. Improved Baseline Method to Calculate Lost Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 2, p. 06013006, 2014. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000800>>. Acesso em: 04/06/2020.

@RISK. Manual do Usuário. Add-In do Microsoft Excel para Simulação e Análise de Riscos. Palisade Corporation: Ithaca, NY EUA, 2016. 995 p.