

ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE NO LANÇAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COM OS MÉTODOS DE MONTE CARLO E HIPERCUBO LATINO

Guilherme Alves Feijó¹

<https://orcid.org/0009-0003-6636-3998>

Paulo Roberto Duailibe Monteiro²

<https://orcid.org/0000-0002-7376-9115>

RESUMO

Este artigo propõe analisar a viabilidade da utilização da aplicação dos métodos Monte Carlo e Hipercubo Latino na estimativa de Produtividade Global no processo de lançamento de condutores elétricos de diferentes diâmetros com base em pequenas amostras. O estudo foi realizado a partir de dados coletados durante a etapa de Construção e Montagem em duas Plantas Industriais, localizadas nas cidades de Três Lagoas-MS (Brasil) e em Huachipa-Lima (Peru). Através das informações obtidas diretamente das equipes de construção e montagem da empresa construtora, foram selecionadas amostras aleatórias com, respectivamente, 10, 15 e 20 elementos e tratadas via simulação utilizando-se o software @Risk6, com o intuito de se avaliar a possibilidade de estas apresentarem resultados semelhantes aos dados coletados em campo, tanto no Brasil quanto no Exterior. Os resultados do trabalho demonstram a viabilidade da aplicação dos métodos de simulação utilizados na estimativa da produtividade no lançamento de condutores. Neste artigo é apresentada uma metodologia que permite, através da elaboração de curvas de probabilidade, fomentar as empresas na tomada de decisão com relação ao processo estudado, com índices que podem permitir às mesmas a realização de ajustes na obra durante, e não apenas na sua conclusão.

Palavras-chave

Produtividade, simulação, método de monte carlo, método de hipercubo latino, lançamento de condutores elétricos.

Submetido em: 01/12/2023 – Aprovado em: 08/01/2024 – Publicado em: 09/01/2024

1 Mestre em Montagem Industrial na Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, guilherme_feijo@hotmail.com

2 Professor Orientador Dr. Paulo Roberto Duailibe Monteiro na Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, pauloduailibe@id.uff.br



PRODUCTIVITY ESTIMATION IN THE INSTALLATION OF ELECTRICAL CONDUCTORS THROUGH SIMULATION USING MONTE CARLO AND LATIN HYPERCUBE METHODS

ABSTRACT

This article proposes to analyze the feasibility of using the Monte Carlo and Latin Hypercube methods to estimate Global Productivity in the process of installing electrical conductors of different diameters based on small samples. The study was conducted using data collected during the Construction and Assembly phase in two Industrial Plants, located in the cities of Três Lagoas-MS (Brazil) and Huachipa-Lima (Peru). Random samples were selected from information obtained directly from the construction and assembly teams of the construction company, with 10, 15, and 20 elements, respectively. These samples were processed through simulation using the @Risk6 software to assess the possibility of obtaining results similar to the field-collected data, both in Brazil and abroad. The results of the study demonstrate the feasibility of applying the simulation methods used in estimating productivity in conductor installation. This article presents a methodology that allows, through the development of probability curves, to support companies in decision-making regarding the studied process, with indices that may allow them to make adjustments to the project during, and not just at its conclusion.

Keywords

Productivity, simulation, Monte Carlo method, Latin Hypercube method, conductor installation.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção e montagem é um dos pilares ao crescimento de qualquer país, devido a sua capacidade de prospecção de investimentos, geração de empregos e renda e a produtividade do trabalho é a medida mais simples e direta para chegar a algum indicador sobre a eficiência da economia, de seus setores ou agentes econômicos. Ela consiste na utilização de alguma medida de produto em relação a alguma medida de mão de obra empregada na produção. (DE NEGRINI & CAVALCANTI, 2015)

A atividade de lançamento de condutores é uma das principais atividades realizadas durante a etapa de instalação de uma planta industrial e, portanto, fomentar indicadores que possibilitem estimadores, orçamentistas, engenheiros e afins usufruírem dessas informações, possibilitando que dados sejam gerados com maior assertividade contribuirá para a elaboração de estimativas mais competitivas em seus projetos.

No que concerne este último tópico, surge a seguinte questão fundamental: “É possível estimar a produtividade do processo de lançamento de condutores elétricos através de simulações com base em pequenas amostras?”

A partir de dados históricos provenientes de duas obras encerradas, o experimento realizado consistiu em analisar as pequenas amostras coletadas de maneira aleatória e compará-las com as amostras originais utilizando os Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino, sendo portanto possível estabelecer relações que possam mostrar a possibilidade de construir indicadores de produtividade nos processos de lançamento de condutores.

Visualiza-se a possibilidade da aplicação dos métodos de simulação para estimar a produtividade em campo destes processos, através da extração de pequenas amostras em tempo real. Os cabeçalhos das seções/subdivisões devem ser breves e claros. O texto do artigo deve ser estruturado preferencialmente contemplando os seguintes itens: introdução, método, resultados e conclusão. Acrônimos e abreviações devem estar entre parênteses e serem precedidos de seu significado completo quando do primeiro uso no texto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino

Os métodos de simulação utilizados neste trabalho são os métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino. Ambos se caracterizam por serem métodos utilizados na seleção de valores aleatórios a partir definida em cada pressuposto com o intuito de se estimar a produtividade em campo do processo estudado, através da extração de pequenas amostras em tempo real.

O MMC É um método de uma classe de métodos estatísticos que se baseiam em amostragens aleatórias massivas para obter resultados numéricos, isto é, repetindo sucessivas simulações um elevado número de vezes, para calcular probabilidades heurísticamente.

A simulação de Monte Carlo pode ser resumida da seguinte forma: Os elementos da pequena amostra representativa coletada apresentam uma função densidade de probabilidade devidamente identificada, uma média e um desvio padrão. São estabelecidos os intervalos de classe e, com estas informações e através de pacotes matemáticos, são gerados N números pseudo-aleatórios da simulação. Para verificar se a curva da simulação está devidamente ajustada com a curva da pequena amostra coletada deve ser realizado um teste de aderência dos dados. Este teste é realizado pela verificação de quanto à frequência esperada na simulação está próxima da frequência observada na amostra analisada. MARTINS (2011) define as etapas da simulação de Monte Carlo da seguinte maneira:

- a amostra com determinado número de elementos recolhidos apresenta uma função densidade de probabilidade devidamente identificada, uma média e um desvio padrão;
- estabelecem-se intervalos de classe através dos quais, e com pacotes matemáticos, são gerados N números pseudoaleatórios da simulação. - Constituem-se histogramas da amostra e da simulação com o intuito de verificar se a curva da simulação se encontra ajustada com a curva da amostra arrecadada;
- Realiza-se um teste de aderência dos elementos no qual se verifica a proximidade entre a frequência esperada na simulação e a frequência observada na amostra analisada com o objetivo de observar o ajuste dos dados ao modelo teórico pré-estabelecido;
- Em se confirmando a aderência, obtém-se a curva da função de probabilidade acumulada (FPA), pelo método de Monte Carlo Amostragem Hipercubo Latina (MCKAY, CONOVER e BECKMAN, 1979) é um método de amostragem que pode ser usado para produzir valores de entrada para estimativa de expectativas de funções de saída variáveis.

A etapas da simulação pelo Hipercubo Latino, podem ser resumidas da seguinte forma:

- Define-se da melhor função distribuição da amostra tratada estabelecida;
- Realiza-se o cálculo estatístico da amostra a partir de cada estrato;
- Elaboração da FDP e FDA da amostra;
- Após o cálculo da média de cada estrato dos números correspondente da amostra e dos números pseudorrandômicos correspondentes, são elaborados os gráficos FDP e FPA da simulação;
- Cálculo da estatística a simulação e comparação entre os FDPs e FPAs da amostra e simulação
- Verificação da aderência por máxima verossimilhança (ou teste de QuiQuadrado)
- Análise e conclusão dos números pseudo-aleatórios gerados, pois neste método a distribuição é realizada de forma proporcional ao percentual previsto em cada classe da amostra analisada.

A avaliação do grau de aderência da simulação com a amostra é realizada da mesma forma que a descrita para o método de Monte Carlo.

Portanto, O objetivo deste trabalho é a verificação da aplicabilidade dos Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino na estimativa de Produtividade Global no processo de lançamento de condutores elétricos de diferentes diâmetros com base em pequenas amostras. Para realização do estudo realizou-se a coleta de dados durante a etapa de Construção e Montagem em duas Plantas Industriais, localizadas em diferentes países. As pequenas amostras, a partir da qual se realizaram as simulações, foram retiradas desta base de dados de forma aleatória. O número de cada amostra é de 10, 15 e 20 elementos.

2.2 Indicadores de Produtividade

A produtividade pode ser simplesmente ilustrada por uma associação entre uma saída e uma entrada. De uma forma geral, pode-se definir que produtividade como a razão entre os recursos de saída e os recursos de entrada (THOMAS AND MATHEWS, 1986). Em sua forma mais simples, a produtividade do trabalho pode ser definida como as horas de trabalho divididas pelas unidades de trabalho realizadas (THOMAS, 1994).

No caso do processo de lançamento de condutores, a produtividade é, de forma geral, a quantidade de condutores lançados, com relação à quantidade de recursos humanos consumidos. GRIFFIOEN (1993) desenvolveu um método para aumentar a produtividade na etapa e lançamento de condutores elétricos em eletrodutos, que consiste em acelerar a atividade de lançamento de cabos em um curto espaço de tempo, utilizando o armazém aonde o cabo é mantido já desenrolado e uma estrutura mecânica, em forma de polias, que permite que o cabo seja mantido a uma velocidade constante durante o deslizamento sobre o eletroduto. Essa técnica permite aumento da velocidade do lançamento em um curto espaço de tempo, aumentando assim a produtividade.

A medição da produtividade e a avaliação de desempenho são duas funções de gestão separadas. A medição da produtividade envolve a coleta de dados de diversas atividades, incluindo o local de execução, as quantidades produzidas e as respectivas horas de trabalho gastas. Já a avaliação global de desempenho envolve uma análise mais abrangente deste e de outros fatores que afetam a eficiência da empreiteira; portanto, a produtividade é apenas uma parte do desempenho (COX, ISSA & AHRENS,2003).

Os indicadores utilizados nesse artigo foram padronizados tanto em relação massa (em kg) quanto em relação ao volume (em m³), uma vez que, pelo fato dos condutores elétricos analisados possuírem variações em suas massas e volumes totais, por possuírem diferentes seções nominais, o presente trabalho estabeleceu métricas que pudessem englobar todas essas diferenças.

3 METODOLOGIA

O experimento realizado consistiu em comparar o comportamento estatístico da base de dados composta de amostras originais de 91 e 58 elementos, classificados como Projeto A e B, respectivamente, geradas através de simulação via pequenas amostras utilizando os Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino. Inicialmente, tanto as amostras originais quanto as pequenas amostras coletadas de maneira aleatória foram ajustadas às curvas de distribuição pela máxima verossimilhança (FDP), utilizando o software @Risk. A partir daí foram realizadas simulações pelos métodos definidos com o intuito de se comparar o comportamento das funções de densidade de probabilidade (FDP) e funções de densidade de probabilidade acumulada (FPA), tanto para as amostras originais, quanto das geradas via simulação. Da mesma forma, no que diz respeito às curvas geradas por simulação, foram analisadas e verificadas a aderência entre as curvas para ambos os Projetos através nos diferentes métodos escolhidos.

A produtividade medida no processo leva em conta o tempo necessário para um determinado grupo de trabalho, composto por eletricitas e ajudantes, realizar o lançamento de um determinado circuito. Desse modo, o experimento consiste em definir o passo a passo para o correto tratamento da amostra e posterior simulação, e consiste basicamente em:

- 1-) Definir e estabelecer as amostras de referência a partir as amostras originais;
- 2-) Através do software @Risk ajustar as amostras de referência às curvas de distribuição pela máxima verossimilhança das funções utilizadas (ou seja, as funções “inputs” para realizações das simulações);
- 3-) Coletar as pequenas amostras, sorteadas de maneira aleatória e, da mesma forma, estabelecer as funções distribuições apropriadas para um determinado nível de significância;
- 4-) Realizar as simulações pelo Método de Monte Carlo e Hipercubo Latino através do software @Risk;
- 5-) Estabelecer as funções FPA (função de probabilidade acumulada) das amostras apropriadas e de suas respectivas simulações, com intuito de se verificar a efetividade da simulação para uma amostra de tamanho reduzido reproduzir comportamento semelhante à da amostra original.

Tomando como base o trabalho desenvolvido por (MARTINS, 2011), a aleatoriedade dos elementos de cada amostra será realizada pela escolha por sorteio com todos os números representados, sendo retirados um a um até a formação, na sequência, da amostra de 20 elementos, de 15 elementos e de 10 elementos, nesta ordem. A cada amostra formada, os números são retornados para a urna.

A primeira etapa da coleta de dados aconteceu no ano de 2017, e foi realizada no canteiro de obras da empresa Palmont na cidade de Três Lagoas-MG. Já a segunda etapa da etapa da coleta de dados aconteceu no ano de 2018, e foi realizada no canteiro de obras da empresa FGA Ingenieros. Neste trabalho foram denominados Projetos A e B, respectivamente.

Em ambos os casos foi utilizada como referência a lista de circuitos (ou lista de cabos) de cada um dos projetos, disponibilizada pela engenharia de detalhamento elétrico da contratante, cujas informações devidamente autorizadas foram posteriormente arquivadas como parte do Data Book disponibilizado pelas contratadas, e conforme modelo demonstrado na Tabela 1

Tabela 1: Modelo de Lista de Circuitos – Projeto Três-Lagoas

REV.	DADOS DO CIRCUITO				
	CIRC.	ISOLAMENTO	ORIGEM	COMPR. (m)	FUNÇÃO
	Nº	CLASSE DE TENSÃO	DESTINO	BOBINA (Nº)	
SEÇÃO (mm ²)					
4	P 100	0,6/1kV	EL-8305	200	BOMBA DO LAVADOR DE H2S
		XLPE/PVC	ÁREA 510 - SUBESTAÇÃO UNITÁRIA		
		1x(1x4/C#4)	RM-108 ÁREA 611 - BOMBAS DE INCÊNDIO		
4	P 101	0,6/1kV	EL-8305	200	BOMBA DO LAVADOR DE NO
		XLPE/PVC	ÁREA 510 - SUBESTAÇÃO UNITÁRIA		
		3x1/C#50	MBR-106A ÁREA 611 - BOMBAS DE INCÊNDIO		
4	P 102	600V	EL-8305	180	PAINEL FORNO 02 BURNOUT
		PVC	ÁREA 510 - SUBESTAÇÃO UNITÁRIA		
		1x1/C#25	MBR-106A ÁREA 611 - BOMBAS DE INCÊNDIO		
4	P 103	0,6/1kV	EL-8305	300	ALEIMENTAÇÃO ET PRÉDIO E MANUTENÇÃO
		XLPE/PVC	ÁREA 510 - SUBESTAÇÃO UNITÁRIA		
		1x(1x4/C#25)	MCP-102 ÁREA 612 - FILLING STATION		

Fonte: Adaptado pelo Autor (2022)

Assim sendo, a partir das informações do tipo de condutor a ser utilizado em cada circuito, o encarregado informava ao final de cada dia a quantidade de horas despendidas em atividades relacionadas a cada circuito constituinte da lista de circuitos do projeto, os quais alimentavam um banco de horas. Tais horas eram coletadas ao final, buscando assim uma maior exatidão no apontamento das horas trabalhadas. Na folha de apropriação de horas também era apontado o percentual de avanço da tarefa realizada e, caso um determinado circuito não tivesse sido completado ao término de 1 dia (8 horas), as horas remanescentes eram adicionadas no(s) dia(s) seguinte(s) até a conclusão da tarefa. Durante os dias de coleta o número de recursos variou em torno de 6 a 8 colaboradores (formados em duplas), além do supervisor (Encarregado), alocados diariamente, com regime de trabalho 8 horas por dia (ou seja, das 8 da manhã às 12 hs e posteriormente das 13 às 17 hs) de segunda a sexta feira.

A Tabela 2 representada o modelo de folha de apropriação de horas dedicada ao monitoramento da atividade de lançamento de condutores elétricos,

Tabela 2 - Tabela modelo de folha apropriação de Mão de Obra

REV.	DADOS DO CIRCUITO				CONTROLE DE HORAS					PRODUTIVIDADE GLOBAL REAL m/hh	
	CIRC.	ISOLAMENTO	ORIGEM	COMPR. (m)	FUNÇÃO	COLABORADORES	QUANTIDADE	% CONCLUSÃO DA TAREFA	HOMEN-HORA (Hh)		Hh TOTAL GASTO
	Nº	CLASSE DE TENSÃO	DESTINO	BOBINA (Nº)							
4	P108	0.6/1kV XLPE/PVC 1x(1x4/C#4)	EL-8305 ÁREA 510 - RM-108 ÁREA 611 -	160	JOCKEY PUMP MOTOR FEEDER - 1.5HP	Eletricista Ajudante	2 2	100%	6	28	5,71
4	P109	0.6/1kV XLPE/PVC 3x1/C#50	EL-8305 ÁREA 510 - MBR-106A ÁREA 611 -	160	FIREFIGHTING PUMP #1 MOTOR FEEDER - 75HP	Eletricista Ajudante	2 2	100%	16	64	2,50
4	P110	600V PVC 1x1/C#25	EL-8305 ÁREA 510 - MBR-106A ÁREA 611 -	160	FIREFIGHTING PUMP #1 MOTOR FEEDER - 75HP	Eletricista Ajudante	1 2	100%	6	18	8,89
4	P111	0.6/1kV XLPE/PVC 1x(1x4/C#25)	EL-8305 ÁREA 510 - MCP-102 ÁREA 612 - FILLING	150	AIR COMPRESSOR SKID FEEDER - 40KW	Eletricista Ajudante	1 2	100%	6	18	8,33
4	P112	0.6/1kV XLPE/PVC 1x(1x4/C#4)	EL-8305 ÁREA 510 - SK-1990 ÁREA 612 - DRIOX	100	INERT GAS PURIFIER (TOG) - 12KW	Eletricista Ajudante	2 2	100%	3	20	5,00
4	P113	0.6/1kV XLPE/PVC 1x(1x4/C#25)	EL-8305 ÁREA 510 - HV-1230 ÁREA 612 - DRIOX	100	CARBON DIOXIDE VAPORIZER - WATER BATH HEATERS- 30KW	Eletricista Ajudante	1 1	100%	6	12	8,33

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Devido a influência das distintas seções nominais nos índices de produtividade de cada grupo amostral, faz-se cálculo estatístico de cada um deles, objetivando-se identificar o comportamento do processo em análise, tanto em m³/Hh quanto em kg/Hh, com o intuito de se demonstrar que as amostras de referência são relevantes e podem ser utilizados para o objetivo pretendido no trabalho.

A partir daí são calculadas as estatísticas de cada grupo de amostras, conforme as tabelas 3 a 6 abaixo:

Tabela 3 - Projeto A (m³/Hh)

Media	4,958E-04
Moda	5,000E-05
Desvio Padrão	5,790E-04
Mediana	1,750E-04
Mínimo	4,680E-06
Máximo	1,950E-03
Coef. Variação	1,168E+00

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Tabela 4 - Projeto A (kg/Hh)

Media	1,985
Moda	0,564
Desvio Padrão	1,161
Mediana	1,853
Mínimo	0,515
Máximo	4,104
Coef. Variação	0,585

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Tabela 5 - Projeto B (m³/Hh)

Media	4,456E-04
Moda	6,000E-06
Desvio Padrão	5,955E-04
Mediana	1,753E-04
Mínimo	6,000E-06
Máximo	2,063E-03
Coef. Variação	1,336E+00

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Tabela 6 - Projeto A (kg/Hh)

Media	1,707
Moda	2,100
Desvio Padrão	0,777
Mediana	1,882
Mínimo	0,496
Máximo	3,128
Coef. Variação	0,455

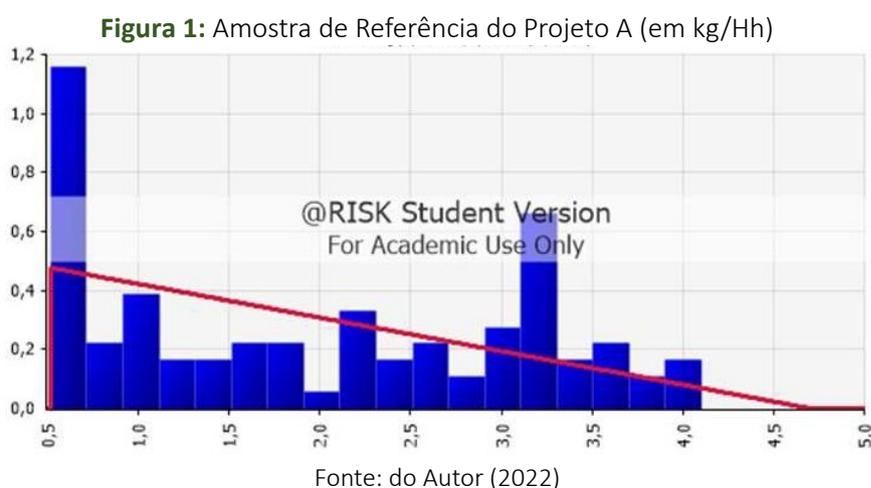
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

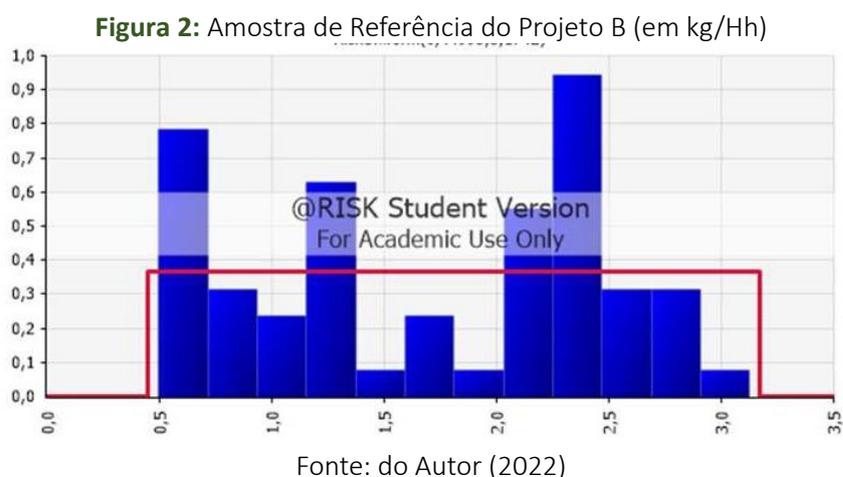
Analisando o comportamento dos índices de produtividade normalizados tanto pela massa quanto pelo volume, verifica-se que a ponderação pela massa demonstra ser mais adequada para a avaliação e análise das amostras de referência a serem estudadas. Tanto o desvio padrão quanto os coeficientes de variação (em valores absolutos) são menores quando comparados com a ponderação pelo volume. Portanto, tem-se uma maior uniformização e homogeneização do conjunto de dados quando da padronização dos mesmos através da relação kg/Hh.

Esta ponderação mostra-se eficaz a medida em que a massa para cada tipo de condutor é padronizada e, portanto, sem interferência do autor no estabelecimento da relação kg/Hh. Esse indicador foi obtido a partir da multiplicação relação kg/km de cada condutor pelo seu índice de produtividade em m/Hh.

3.1 Definição da Função Geratriz para Simulação

As amostras apropriadas foram processadas através da utilização do “software @risk 7.5 da Palisade Corporation, com o intuito de se estabelecer as funções que melhor definem os dados das amostras de referência em cada um dos Projetos estudados. Dessa forma, as funções geratrizes dos dados de entrada dos modelos de produtividade foram obtidas via teste de aderência, através da função do software denominada função de ajuste. Definiu-se, portanto, a curva de distribuição para os dados de entrada para cada conjunto de amostras apropriadas e as funções aproximadas que melhor representavam cada curva, de acordo com o Critério de Informação de Akaike (AIC), o qual é o mais recomendado pelo software @Risk. As estatísticas de AIC são calculadas com base no logaritmo da função de verossimilhança, e levam em conta o número de parâmetros livres da distribuição ajustada. Os resultados desses processamentos são mostrados nas Figuras 1 e 2





Toda estruturação computacional utilizada no cálculo das funções, da estatística e dos gráficos gerados seguem as orientações do software @risk. Assim, com a amostra, a FDP, o nível de significância estabelecido, o número de classes a ser utilizado e a quantidade de números pseudo-aleatórios a serem gerados pelo gerador de números aleatórios, roda-se a simulação de Monte Carlo e de Hipercubo Latino, tanto com as amostras originais dos Projetos A e B, quanto com as pequenas amostras coletadas.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Projeto A: Amostra com 20, 15 e 10 elementos

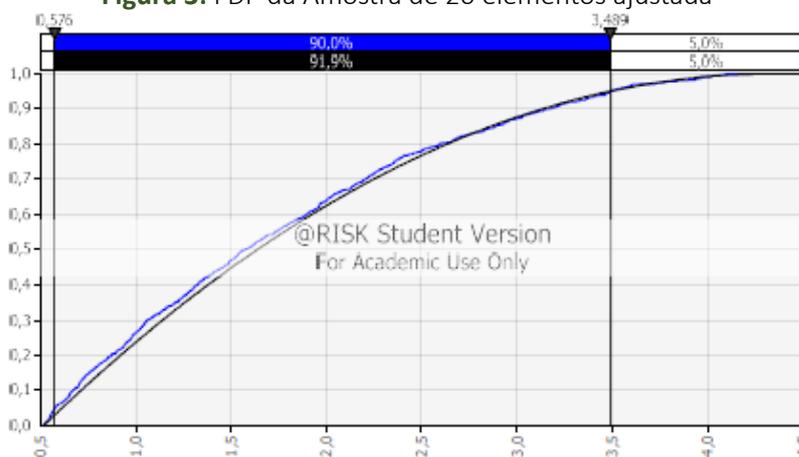
As amostras com 20, 15 e 10 elementos são retiradas de forma aleatória da amostra original de 91 elementos. A tabela 7 apresenta a estatística da amostra de 20 elementos. Para as simulações, tanto pelo MMC, quanto pelo LHS, inicialmente é avaliada a função densidade de probabilidade (FDP) que melhor se adapta a amostra analisada. Utilizando-se a avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva de “Triang”. A representação da FDP da amostra com 20 elementos e simulação de “Triang”, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figuras 3 a 5. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 20 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 3,9614 kg/Hh. A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 3,4882 kg/Hh e 3,1335 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 2,2%.

Tabela 7 – Resumo da Amostra 20 elementos

Media	1,707
Moda	0,674
Desvio Padrão	1,138
Mediana	1,247
Mínimo	0,515
Máximo	3,779
Coef. Variação	0,667

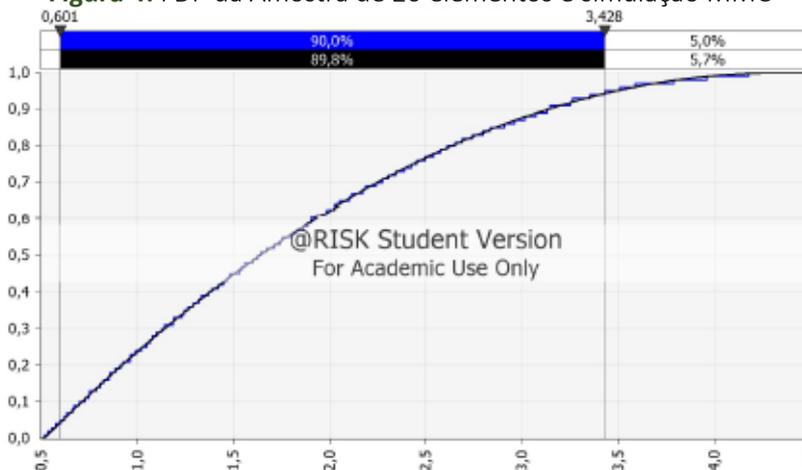
Fonte: do Autor (2022)

Figura 3: FDP da Amostra de 20 elementos ajustada



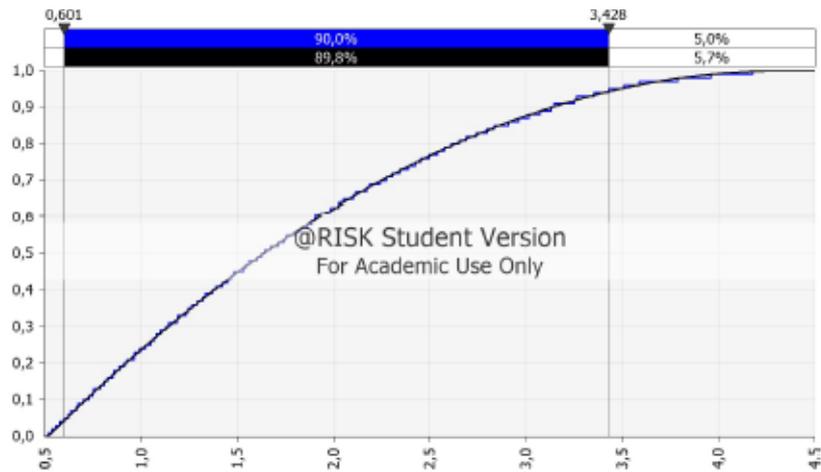
Fonte: do Autor (2022)

Figura 4: FDP da Amostra de 20 elementos e simulação MMC



Fonte: do Autor (2022)

Figura 5: FDP da Amostra de 20 elementos e simulação LHS



Fonte: do Autor (2022)

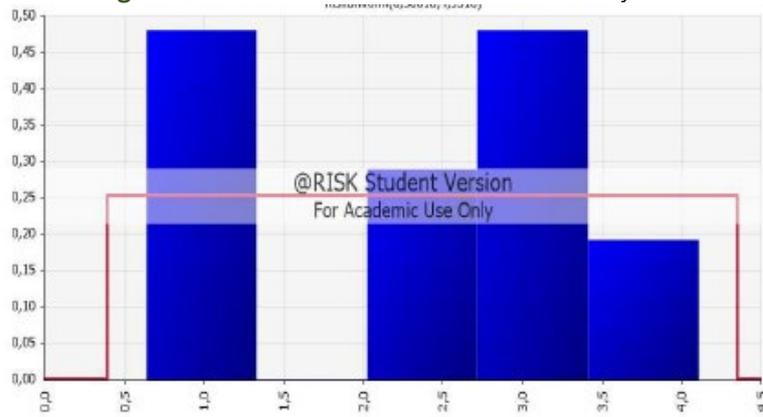
Já para a amostra de 15 elementos, pela avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva “Risk Uniform”. A tabela 8 apresenta a estatística da amostra de 15 elementos. Para as simulações, tanto pelo MMC, quanto pelo LHS, inicialmente é avaliada a função densidade de probabilidade (FDP) que melhor se adapta a amostra analisada. A representação da FDP da amostra com 15 elementos e simulação de Risk Uniform, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figuras 6 a 8. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 15 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 4,229 kg/Hh. A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 4,1208 kg/Hh e 3,9687 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 4,1%.

Tabela 8 – Resumo da Amostra 15 elementos

Media	2,290
Moda	0,634
Desvio Padrão	1,262
Mediana	2,595
Mínimo	0,634
Máximo	4,104
Coef. Variação	0,551

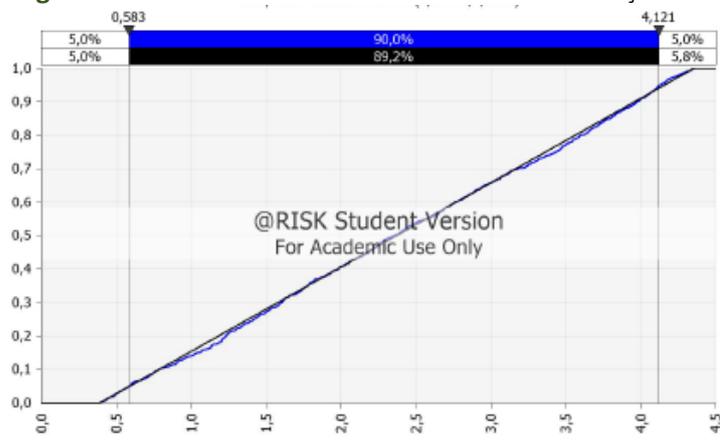
Fonte: do Autor (2022)

Figura 6: FDP da Amostra de 15 elementos ajustada



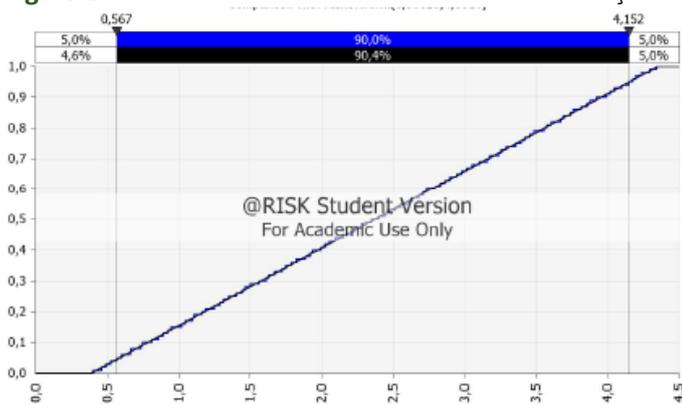
Fonte: do Autor (2022)

Figura 7: FDP da Amostra de 15 elementos e simulação MMC



Fonte: do Autor (2022)

Figura 8: FDP da Amostra de 15 elementos e simulação LHS



Fonte: do Autor (2022)

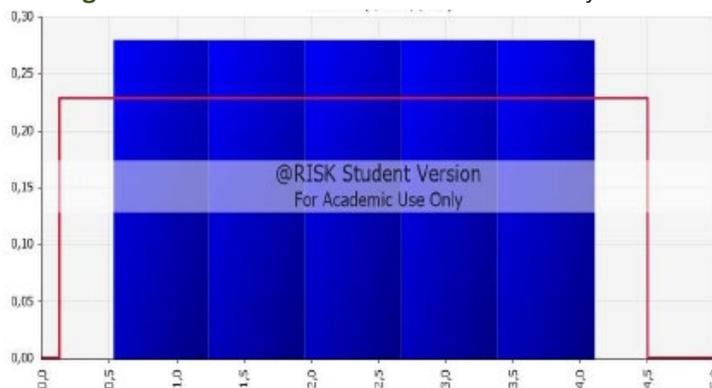
Já para a amostra de 10 elementos, pela avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva “Risk Uniform”. A tabela 9 apresenta a estatística da amostra de 10 elementos. Para as simulações, tanto pelo MMC, quanto pelo LHS, inicialmente é avaliada a função densidade de probabilidade (FDP) que melhor se adapta a amostra analisada. A representação da FDP da amostra com 15 elementos e simulação de Risk Uniform, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figura 9 a 11. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 10 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 4,561 kg/Hh. A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 4,233 kg/Hh e 4,018 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 1,3%.

Tabela 9 – Resumo da Amostra 10 elementos

Media	2,329
Moda	3,275
Desvio Padrão	1,240
Mediana	2,473
Mínimo	0,526
Máximo	4,104
Coef. Variação	0,533

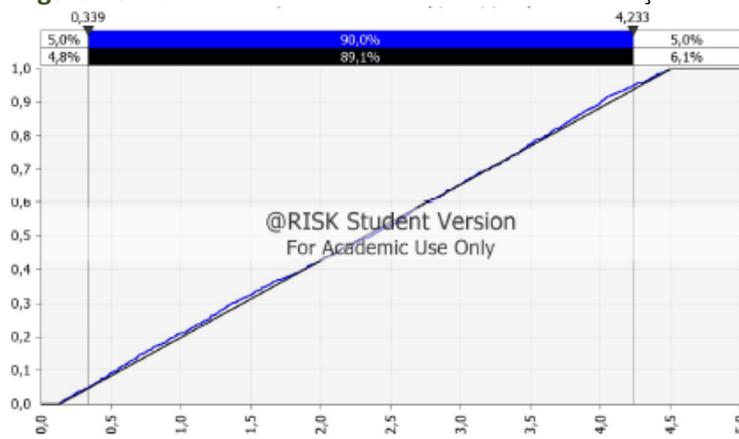
Fonte: do Autor (2022)

Figura 9: FDP da Amostra de 10 elementos ajustada



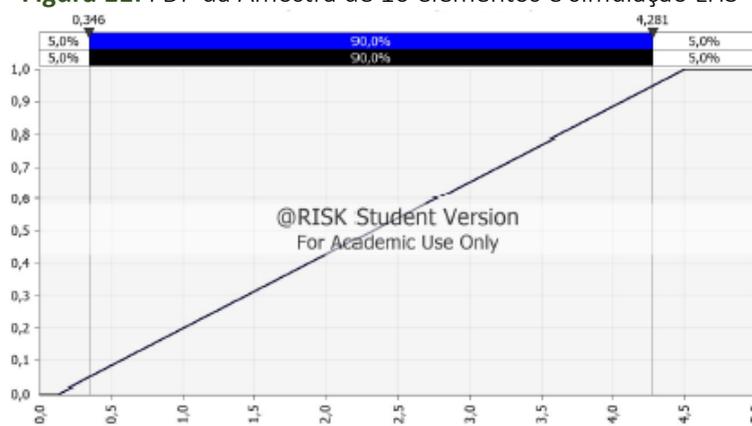
Fonte: do Autor (2022)

Figura 10: FDP da Amostra de 10 elementos e simulação MMC



Fonte: do Autor (2022)

Figura 11: FDP da Amostra de 10 elementos e simulação LHS



Fonte: do Autor (2022)

4.2 Projeto B: Amostra com 20, 15 e 10 elementos

As amostras com 20, 15 e 10 elementos são retiradas de forma aleatória da amostra original de 58 elementos. A tabela 10 apresenta a estatística da amostra de 20 elementos. Para as simulações, tanto pelo MMC, quanto pelo LHS, inicialmente é avaliada a função densidade de probabilidade (FDP) que melhor se adapta a amostra analisada. Utilizando-se a avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva de “Triang”. A representação da FDP da amostra com 20 elementos e simulação de “Triang”, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figura 12 a 15. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 20 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 3,2992 kg/Hh.

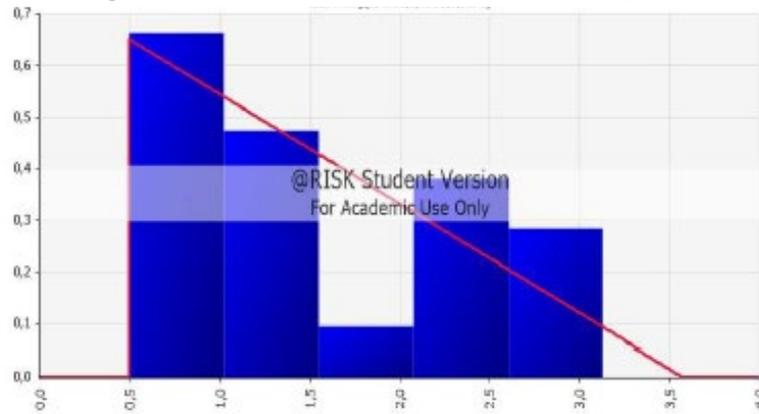
A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 2,881 kg/Hh e 2,543 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 1,0%.

Tabela 10 – Resumo da Amostra 20 elementos

Media	1,533
Moda	1,316
Desvio Padrão	0,842
Mediana	1,290
Mínimo	0,496
Máximo	3,128
Coef. Variação	0,549

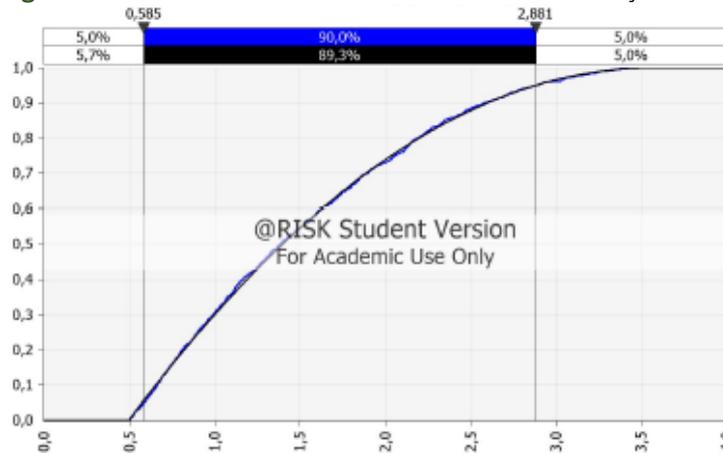
Fonte: do Autor (2022)

Figura 12: FDP da Amostra de 20 elementos ajustada



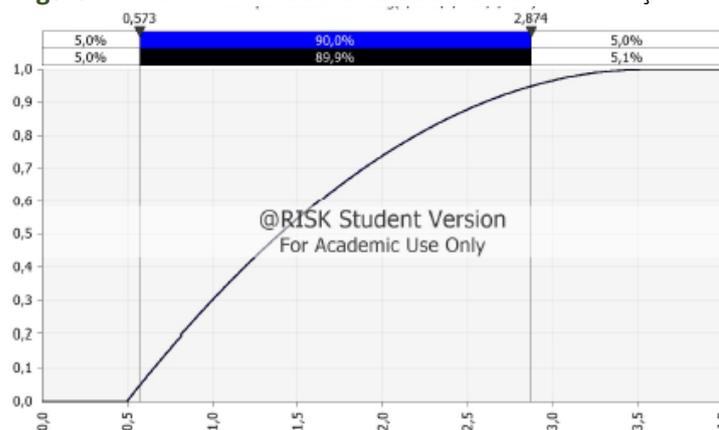
Fonte: do Autor (2022)

Figura 13: FDP da Amostra de 20 elementos e simulação MMC



Fonte: do Autor (2022)

Figura 14: FDP da Amostra de 20 elementos e simulação LHS



Fonte: do Autor (2022)

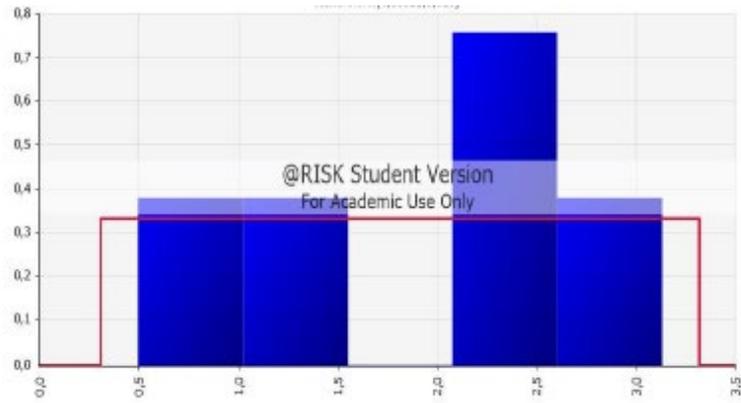
Já para a amostra de 15 elementos, pela avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva “Risk Uniform”. A representação da FDP da amostra com 15 elementos e simulação de Risk Uniform, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figura 15 a 17. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 15 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 3,225 kg/Hh. A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 3,150 kg/Hh e 2,947 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 5,8%.

Tabela 11 - Resumo da Amostra 15 elementos

Media	1,928
Moda	N/A
Desvio Padrão	0,860
Mediana	2,293
Mínimo	0,496
Máximo	3,128
Coef. Variação	0,446

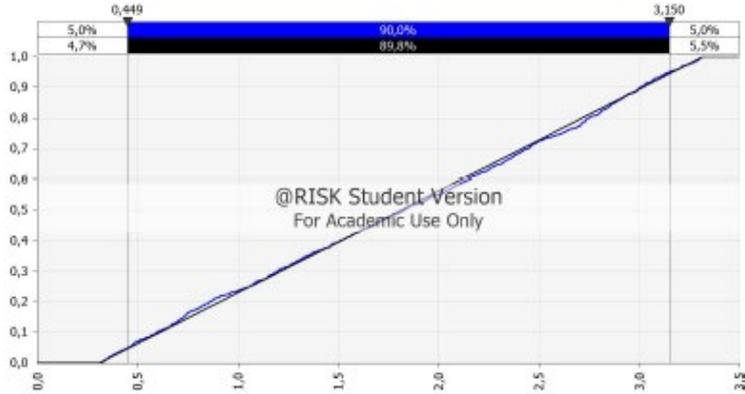
Fonte: do Autor (2022)

Figura 15: FDP da Amostra de 15 elementos ajustada



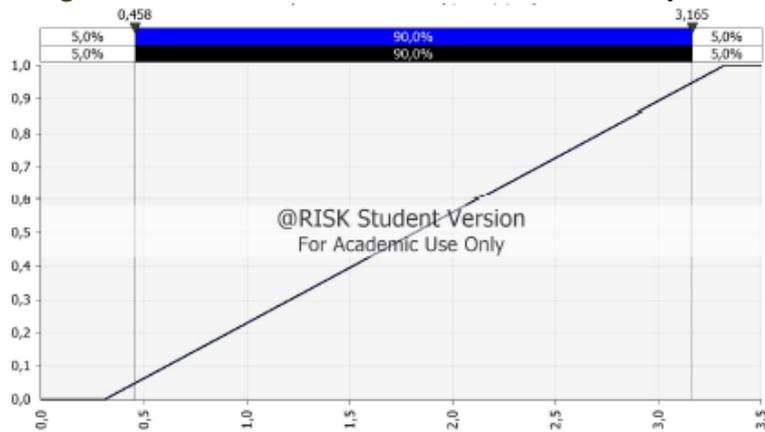
Fonte: do Autor (2022)

Figura 16: FDP da Amostra de 15 elementos e simulação MMC



Fonte: do Autor (2022)

Figura 17: FDP da Amostra de 15 elementos e simulação LHS

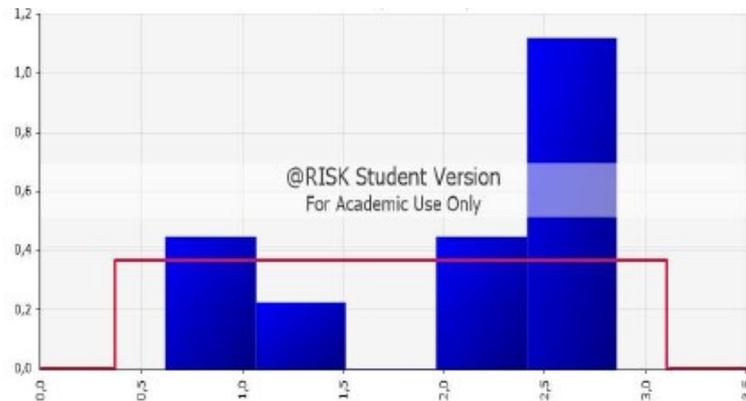


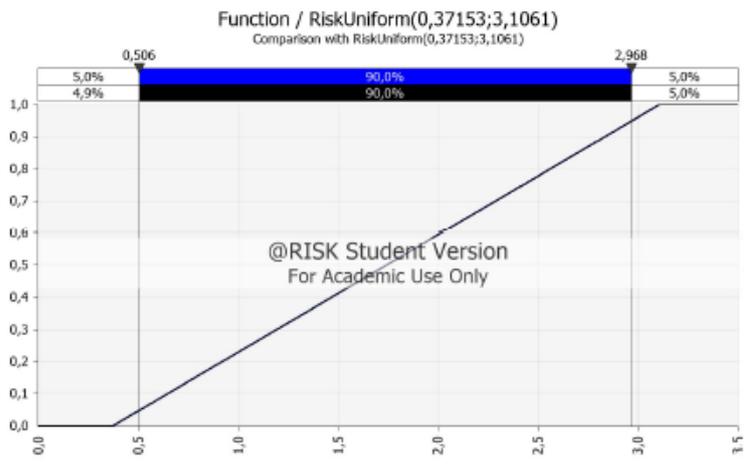
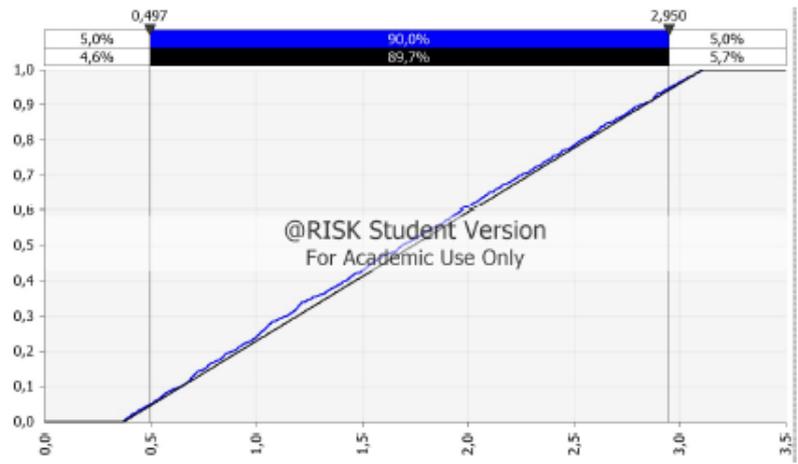
Fonte: do Autor (2022)

Já para a amostra de 10 elementos, pela avaliação da máxima verossimilhança entre as funções consideradas, a que melhor se ajustou foi à curva “Risk Uniform”. A representação da FDP da amostra com 10 elementos e simulação de Risk Uniform, com respectiva comparação da diferença entre amostra e simulações MMC e LHS são representadas nas Figura 18 a 20. Observando-se a FPA da simulação MMC da amostra de 10 elementos, pode-se afirmar com um nível de significância de 99% que a produtividade 100% do processo de lançamento de condutores é de 3,399 kg/Hh. A produtividade 95% e 90% são, respectivamente, 2,950 kg/Hh e 2,781 kg/Hh. Os valores da amostra e da simulação apresentam uma diferença máxima de 5,8%.

Tabela 12 – Resumo da Amostra 15 elementos

Media	2,022
Moda	2,456
Desvio Padrão	0,816
Mediana	2,380
Mínimo	0,620
Máximo	2,858
Coef. Variação	0,404





A fim de evitar uma comparação subjetiva dentre as metodologias de amostragem e simulação abordadas, são expostos no Quadro 4.1 o resumo dos resultados obtidos em cada etapa da simulação com as diferentes amostras nos distintos Projetos.

Experimento	Amostra Original	Amostra Coletada Aleatoriamente	Dados de Produtividade (kg/Hh)									
			Amostra Original (Produtividade de Média)	Valor Ajustado	Simulação por Monte Carlo	Δ (%)	Produtividade Otimista MMC (90% FPA)	Produtividade Pessimista MMC (mínimo)	Simulação por Hipercubo Latino	Δ (%)	Produtividade Otimista LHS (90% FPA)	Produtividade Pessimista LHS (mínimo)
Projeto A	91 elementos	20 elementos	1,985	1,71	1,745	2,2%	3,133	0,576	1,79	4,9%	3,13	0,601
		15 elementos		2,29	2,384	4,1%	3,968	0,583	2,369	3,4%	3,923	0,567
		10 elementos		2,32	2,291	1,3%	4,018	0,339	2,312	0,4%	4,151	0,346
Projeto B	58 elementos	20 elementos	1,707	1,53	1,517	1,0%	2,1508	0,585	1,518	1,0%	2,656	0,573
		15 elementos		1,93	1,816	5,8%	2,947	0,449	1,811	6,1%	2,983	0,458
		10 elementos		2,02	1,704	15,7%	2,95	0,497	1,718	15,0%	2,753	0,506

Quadro 4.1: Resumo dos resultados obtidos via Simulações de MMM e LHS
 Fonte: do Autor (2022)

Ao comparar as diferentes metodologias aplicadas, com o tamanho da amostra original em cada Projeto e o tamanho das amostras coletadas, nota-se alguns fatos importantes:

No Projeto A, cuja amostra original é composta por 91 elementos, percebe-se que a produtividade média da amostra coletada se aproxima da amostra original quanto maior o número de elementos coletados. Percebe-se ainda que com a aplicação das metodologias de simulação abordadas pelas referidas curvas de ajustes das amostras coletadas houve uma diferença máxima encontrada de 4,9% (neste caso para amostra de 20 elementos via simulação pelo método de Hipercubo Carlo), resultando, portanto, em índices de produtividade média em aderência com o as amostras coletadas.

Já no Projeto B, cuja amostra original é composta por 58 elementos, percebe-se que a produtividade média da amostra coletada pouco variou com o aumento da amostragem. Com a aplicação das metodologias de simulação abordadas pelas referidas curvas de ajustes, percebe-se que há diferença máxima encontrada de 15,7% (neste caso para amostra de 10 elementos via simulação pelo método de elementos de Monte Carlo).

Em ambos os casos estudados, em função dos resultados apresentados pelos métodos de simulação abordados, pode-se afirmar que eles têm capacidade de identificar a produtividade do processos de lançamento de condutores utilizando pequenas amostras, uma vez que as funções obtidas por simulação têm forma semelhante às correspondentes nas amostras de referência.

5 CONCLUSÃO

Este artigo se propôs a apresentar uma ferramenta para auxiliar a monitoração da produtividade em obras em andamento e estimativa da produtividade na atividade de lançamento de conectores de diferentes diâmetros a partir de banco de dados de uma obra existente.

Para isso, utilizou-se a aplicação de ferramentas para simulação de pequenas amostras retiradas dos dados originalmente coletados na construção de índices de produtividade do processo estudado.

Conforme a análise dos resultados apresentados, verifica-se a aplicabilidade da simulação pelos métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino na avaliação da estimativa de produtividade do processo de lançamento de condutores elétricos. Usualmente, utiliza-se como indicador de produtividade um valor de produtividade média, a qual é baseada em dados históricos de outros empreendimentos, e somente é aferida após a conclusão da obra. No entanto, neste trabalho considera-se de maior interesse analisar o intervalo entre as cotas 5% e 90% da FPA, onde 5% correspondem ao valor para uma estimativa pessimista (maior quantidade de homens-hora necessários para o lançamento de 1 kg de condutor), enquanto a cota de 90% é considerada uma estimativa otimista, de modo a fazer avaliações de estimativas mais precisas quanto à mão de obra necessária e o possibilitando o monitoramento das mesmas de maneira prática e confiável. Assim, cabe depois à empresa decidir, em tempo real, a adequação dos processos de lançamento de condutores, sabendo de antemão, com a produtividade existente, quais os custos que essa decisão irá provocar.

Portanto, o objetivo deste trabalho, além de comprovar a aplicabilidade das simulações pelos Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latinos na estimativa e controle de produtividade no processo de lançamento de condutores, é indicar a possibilidade da utilização de diferentes técnicas de amostragem, de modo que as empresas possam avaliar a que melhor se encaixa nos níveis de assertividade requeridos e a quão custosa e extensa essa tarefa deve ser.

Considerando-se a importância dos processos de lançamento de condutores na indústria de construção e montagem e a pouca disponibilidade de avaliações na relação de produtividade deste processo, é interessante que sejam elaborados trabalhos semelhantes a este para identificar a capacidade dos métodos de simulação em estimar a produtividade utilizando pequenas amostras nos processos utilizados em trabalhos aplicados em construção e montagem, como por exemplo na implantação de todo o Sistema Elétrico em uma Planta Industrial ou outros sistemas similares.

REFERÊNCIAS

- COX, R. F.; ISSA, R. R.; AHRENS, D. Management's perception of key performance indicators for construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.129, n. 2, p. 142-151, 2003.
- GRIFFIOEN, Willem; PRINS, Geert J. Method and device for installing a cable in a cable duct. **U.S. Patent** n. 5,211,377, 18 maio 1993.
- MARTINS, J. L. F. **Aplicação de Simulação com os Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino na Estimativa da Produtividade no Processo de Soldagem por Eletrodo Revestido**. Niterói, 2011. 293 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2011.
- MARTINS, José Luiz Ferreira; FERREIRA, Miguel Luiz Ribeiro; SARAIVA, José Murilo Ferraz. Estimativa da produtividade em soldagem pelo Método de Monte Carlo. **Soldagem & Inspeção**, v. 16, n. 03, p. 204-212, 2011.
- MCKAY, Michael D.; BECKMAN, Richard J.; CONOVER, William J. Comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. **Technometrics**, v. 21, n. 2, p. 239-245, 1979.
- PALISADE CORPORATION. Manual do Usuário @RISK. Add-In do Microsoft® Excel para Simulação e Análise de Riscos, Versão 7.5. **Palisade Corporation**, 2019. 941 p.
- THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G. Learning curve models of construction productivity. **Journal of construction engineering and management**, v.112, n. 2, p. 245-258, 1986.
- THOMAS, R.H. (1994), "Effects of scheduled overtime on labor productivity", **Journal of Construction Engineering and Management** Vol. 118 No. 1, pp. 60-7.