

MARINA DE SOUZA PEREIRA

**Aplicação da Simulação Monte Carlo na avaliação de indicadores
industriais em um contexto sob incerteza**

Marina de Souza Pereira

Aplicação da simulação Monte Carlo na avaliação de indicadores industriais em um contexto sob incerteza

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva

P436a	<p>Pereira, Marina de Souza</p> <p>Aplicação da simulação Monte Carlo na avaliação de indicadores industriais em um contexto sob incerteza / Marina de Souza Pereira. – Guaratinguetá, 2018. 54 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 49-51</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva</p> <p>1. Monte Carlo, Método de 2. Incerteza 3. Desempenho -Medição I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 519.245</p>
-------	--

Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária/CRB-8/9203

MARINA DE SOUZA PEREIRA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA"


APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA


Prof. Dr. ANDRÉIA MARIA PEDRO SALGADO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. José Roberto Dale Luche
UNESP-FEG


Prof.ª Dr.ª Erica Ximenes Dias
Membro Externo

Novembro de 2018

DADOS CURRICULARES

MARINA DE SOUZA PEREIRA

NASCIMENTO 29.03.1995 – São Paulo/SP

FILIAÇÃO Orlando Mirando Pereira
Vera Lúcia Viveiros de Souza

2014/2018 Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

dedico este trabalho
à minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado saúde e todas as oportunidades de minha vida.

à Universidade Estadual Paulista, seu corpo docente, direção e administração pela orientação e apoio.

ao meu orientador, *Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva* pela oportunidade, apoio e parceria na elaboração deste trabalho e em todos os anos da graduação.

aos meus pais *Vera Lúcia Viveiros de Souza e Orlando Miranda Pereira*, que sempre acreditaram em mim e não pouparam esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. Aqueles que foram imprescindíveis na minha educação e responsáveis pela mulher que me tornei hoje.

ao meu irmão *Marcus Vinicius de Souza Pereira*, que é o meu principal exemplo, tanto na vida pessoal quanto na profissional, me ajudando sempre a traçar meus próximos passos e me aconselhando sempre que necessário.

à toda minha *família*: tios, primos e avós, que sempre me apoiaram e me motivaram durante esses anos de graduação, mesmo estando longe.

à *Isabelle Idalgo* por ter se tornado minha família em Guaratinguetá, compartilhando os principais momentos desta trajetória comigo.

aos meus amigos de curso, em especial *Flávia Peixoto, Luan Dapunt e Yasmin Tokunaga*, pelas incansáveis horas de estudos, dividindo as dificuldades da graduação junto comigo.

à *Jr. Eng*, que auxiliou no meu desenvolvimento pessoal e preparação profissional.

à todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

O meio industrial vem se desenvolvendo e crescendo cada vez mais e traz junto dele diversos impactos ao meio ambiente. Nas últimas décadas as preocupações com o meio ambiente vêm aumentando de forma gradativa e, com isso, as empresas começam a controlar seus impactos na natureza por meio de indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPIs). A presente pesquisa visa analisar esses KPIs em um contexto sob incerteza utilizando o método de modelagem e simulação, Simulação Monte Carlo (SMC). Os materiais utilizados neste estudo foram o software Microsoft Office Excel[®] e o *Crystal Ball*[®]. Os tópicos apresentados na fundamentação teórica são: KPI, indicadores de desenvolvimento sustentável, Modelagem e Simulação e SMC. A empresa escolhida é uma indústria multinacional de grande porte de bens de consumo. Escolhida com base na grande representatividade dela no mercado, exequibilidade e facilidade de acesso aos dados que foram coletados durante sete anos. O trabalho em questão tem como objetivo analisar a aplicabilidade da SMC na análise de indicadores em um contexto sob incerteza. Como resultado da pesquisa evidenciou-se que os KPIs poderiam ser simulados utilizando-se o *Crystal Ball*[®] e que seus resultados podem auxiliar na tomada de decisão da empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação Monte Carlo. Indicador de desempenho. Incerteza. Meio ambiente.

ABSTRACT

The industrial environment has been developing and growing more and more bringing with it several impacts to the environment. In the last decades, environmental concerns have been gradually increasing and, as a result, companies start to control their impacts on nature through Key Performance Indicators (KPIs). The present research aims to analyze these KPIs in a context under uncertainty using the modeling and simulation method, Monte Carlo Simulation (SMC). The materials used in this study were Microsoft Office Excel® software and Crystal Ball®. The topics presented in the theoretical basis are: KPI, indicators of sustainable development, Modeling and Simulation and SMC. The company that was chosen is a multinational consumer goods industry. It was chosen based on the great representativeness of it in the market, feasibility and facility of access the data collected during seven years. The work in question aims to analyze the applicability of SMC in the analysis of indicators in a context under uncertainty. As a result of the research it was evidenced that the KPIs could be simulated using the Crystal Ball® and that their results can help in the decision making of the company.

KEYWORDS: Monte Carlo simulation. Key process indicator. Uncertainty. Environmental.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Publicações sobre SMC.....	15
Figura 2 – Publicações sobre KPI.....	15
Figura 3 - Publicações sobre SMC e KPIs combinados.....	17
Figura 4 - Áreas de pesquisa de SMC.....	17
Figura 5 - Áreas de pesquisa de KPIs.....	18
Figura 6 - Áreas de pesquisa de KPIs e SMC.....	18
Figura 7 - Classificação da pesquisa.....	20
Figura 8 – Principais indicadores de desenvolvimento sustentável.....	23
Figura 9 – Métricas de sustentabilidade.....	24
Figura 10 - Gráfico de comparação do teste de aderência para tonelagem.....	31
Figura 11 – Dados do teste de aderência para tonelagem.....	31
Figura 12 – Distribuição triangular para tonelagem.....	32
Figura 13 - Gráfico de comparação do teste de aderência para uso da água.....	33
Figura 14 – Dados do teste de aderência para uso da água.....	33
Figura 15 - Distribuição triangular para uso da água.....	34
Figura 16 - Gráfico de comparação do teste de aderência para eletricidade.....	35
Figura 17 - Dados do teste de aderência para eletricidade.....	35
Figura 18 – Distribuição T de <i>student</i> para eletricidade.....	35
Figura 19 – Gráfico de comparação do teste de aderência para gás natural.....	37
Figura 20 – Dados do teste de aderência para gás natural.....	37
Figura 21 - Distribuição logística para gás natural.....	38
Figura 22 – Gráfico de comparação do teste de aderência para emissão de gás carbônico.....	39
Figura 23 - Dados do teste de aderência para emissão de gás carbônico.....	39
Figura 24 - Distribuição Extremo Mínimo para tonelagem.....	39
Figura 25 – Simulação de uso da água por tonelagem com 95% de confiança.....	41
Figura 26 - Simulação de uso da água por tonelagem com as metas da empresa.....	41
Figura 27 – Simulação de eletricidade por tonelagem com 95% de confiança.....	42
Figura 28 - Simulação de eletricidade por tonelagem com as metas da empresa.....	43
Figura 29 - Simulação de gás natural por tonelagem com 95% de confiança.....	43
Figura 30 - Simulação de gás natural por tonelagem com as metas da empresa.....	44
Figura 31 – Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem com 95% de confiança.....	45
Figura 32 - Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem com as metas da empresa.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de pesquisa bibliográfica	16
Tabela 2 - Metas da empresa para os indicadores	28
Tabela 3- Metas da empresa para cada KPI	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Descrição dos indicadores e unidade de medida.....	28
Quadro 2 – Elementos das funções de cada KPI	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA	14
1.3	QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS.....	19
1.4	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E MATERIAIS.....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	INDICADORES DE DESEMPENHO	22
2.2	MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	24
3	DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA.....	27
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	27
3.1.1	Descrição dos KPIs	27
3.2	SIMULAÇÃO	29
3.2.1	Coleta de Dados	29
3.2.2	Melhor distribuição para cada KPI.....	30
3.2.2.1	Distribuição da tonelagem	30
3.2.2.2	Distribuição do uso da água.....	32
3.2.2.3	Distribuição de eletricidade	34
3.2.2.4	Distribuição de gás natural.....	36
3.2.2.5	Distribuição de emissão de gás carbônico	38
3.2.3	Simulação de uso da água por tonelagem	40
3.2.4	Simulação de eletricidade por tonelagem	42
3.2.5	Simulação de gás natural por tonelagem	43
3.2.6	Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem	44
3.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS....	47
4.1	VERIFICAÇÃO DAS QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS	47
4.2	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A - DADOS DE MEIO AMBIENTE DE 90 MESES	52

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização da pesquisa, justificativa e contribuição científica, questões da pesquisa e objetivos, procedimento metodológico e materiais, e por fim, a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A queima de combustíveis fósseis e diversas atividades humanas vêm causando efeitos no ecossistema e tornando uma questão importante com atenção global (LIN et al., 2015). Dessa forma, todas as empresas possuem preocupações em comum, como, por exemplo, uso da energia e uso da água, além da emissão de gás carbônico e consumo de energia, que está diretamente relacionada ao processo de produção da indústria (VELEVA et al., 2001; LIN et al, 2015).

As responsabilidades das companhias vêm mudando gradativamente nas últimas décadas, uma vez que as preocupações não se dão apenas por desempenho econômico, mas também, pelo desempenho da sustentabilidade envolvida na empresa (LABUSCHAGNE et al., 2003). O mesmo autor ainda diz que a sustentabilidade vem tomando uma grande importância dentro das indústrias, fazendo com que as estratégias de negócio estejam também voltadas para o meio ambiente.

As indústrias começam a considerar os efeitos ambientais e sociais nos seus processos e produtos (não só nos benefícios econômicos), e assim, colocam objetivos para reduzir os impactos no meio ambiente. Com o desafio de continuarem competitivas no mercado, as empresas vêm desenvolvendo e implementando ferramentas para diversas medidas e métricas, visando analisar uma manufatura sustentável por meio de indicadores de desempenho (JOUNG et al., 2012).

Os indicadores de desempenho - *Key Performance Indicator* (KPIs) descrevem elementos importantes de forma quantitativa e qualitativa, de modo que são projetados objetivos e orçamentos para cada KPI a fim de ficar muito claro o que se está esperando de cada um dele (WAAL et al, 2013).

Outro papel muito importante dos KPIs é auxiliar na tomada de decisão. Porém, as ferramentas tradicionais dessas medições não permitem inferir o desempenho em relação aos múltiplos fatores, e assim, é necessário analisar o impacto total desses KPIs (MURIANA et al., 2016).

Para mensurar essas incertezas que os KPIs podem gerar nos problemas decisórios, é possível utilizar a simulação, um método muito utilizado possível de estudar sistemas que são complexos de forma mais rápida e flexível, muito usado nos últimos anos (MIRANDA et al, 2017). Com isso, a simulação se tornou uma ótima opção, pois, segundo Vallejo et al. (2012), o mercado global está cada vez mais competitivo e necessitado de flexibilidade e adaptações rápidas.

Segundo Kroese et al., (2017), a Simulação Monte Carlo (SMC) é um tipo de simulação estocástica, que utiliza números aleatórios (variáveis aleatórias independentes distribuídas uniformemente) empregados para solucionar um problema.

1.2 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

As alterações climáticas causadas pelas atividades humanas estão cada vez mais tendo efeitos no ecossistema global, colocando vários desafios para o desenvolvimento. Um dos exemplos dessas alterações é a emissão de gás carbônico pelas indústrias, que está diretamente relacionado com seu processo de produção (LIN et al., 2015).

Muitas empresas vêm tendo várias iniciativas de sustentabilidade para reduzir os impactos ambientais (VARSEI et al., 2014). Segundo Singh et al. (2008), existem diversos modos de avaliar a sustentabilidade das empresas, sendo os indicadores cada vez mais reconhecidos como uma ferramenta útil para transmissão de informação sobre desempenho em áreas como meio ambiente, economia, sociedade ou desenvolvimento tecnológico.

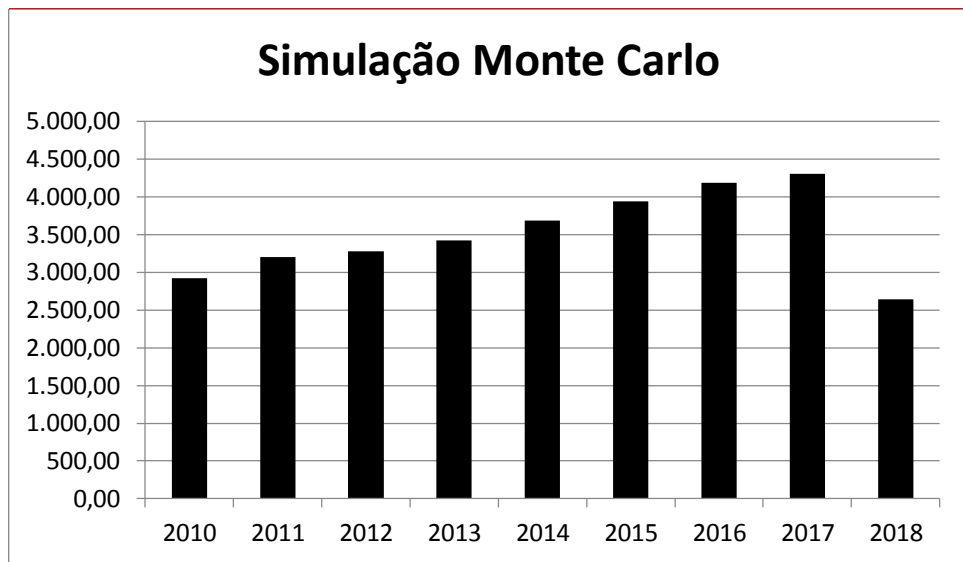
Visando avaliar os indicadores de meio ambiente de uma empresa de grande porte, o trabalho em questão analisou alguns destes KPIs por meio da SMC. Para a escolha desses KPIs foi levado em conta a importância que o meio ambiente vem tendo a partir dos anos 2000, principalmente relacionado às indústrias de grande porte.

Essa pesquisa visa contribuir para a área de Pesquisa Operacional (PO), na subárea de Métodos de Otimização e Simulação, sendo que, os métodos de simulação podem ser utilizados para resolver problemas que impactam na visão geral de sistemas empresariais e na interação de seus componentes (VALLEJO et al. 2012).

Diallo et al. (2017) afirma também que a Modelagem e Simulação é muito eficaz para resolução de problemas práticos do mundo real. Além disso, podem ser utilizados em diversos estudos de engenharia e ciência, tornando-se, assim, grandes aliados para engenheiros e cientistas.

Quando analisada a quantidade de publicações referente a palavra-chave “*Monte Carlo Simulation*”, é possível observar que o tema é muito abordado uma vez que, de 2015 a 2017 foram publicados aproximadamente 12 mil artigos relacionados a esse tema, como pode ser verificado na Figura 1.

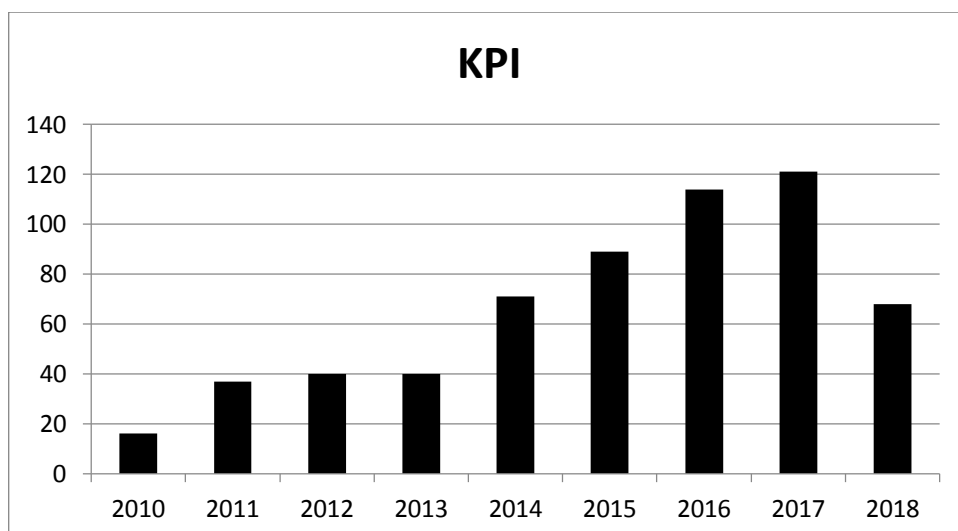
Figura 1 – Publicações sobre SMC



Fonte: Web of Science (2018).

Ao analisar as publicações em relação a palavra-chave “*Key Performances Indicator*” (KPI), é possível notar que o número em relação à SMC já é bem menor, porém, vem crescendo em relação aos anos anteriores. Em 2010 tinham aproximadamente 15 publicações, e em 2017 o número aumentou para 121 como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Publicações sobre KPI



Fonte: Web of Science (2018).

Como pode ser observado na Tabela 1, os assuntos SMC e KPIs combinados possuem poucas publicações na base de dados Scopus. Quando se analisa ano a ano na base *Web of Science* (Figura 3) pode-se observar que a quantidade de publicação é muito variável e baixa também.

Na Tabela 1 é possível observar também as ocorrências de publicações utilizando as palavras-chave desta pesquisa no site do Scopus. Com isso, quando as três palavras-chaves relacionadas a esse trabalho são combinadas, pode-se ver que o tema foi vagamente estudado, havendo um *gap* neste assunto.

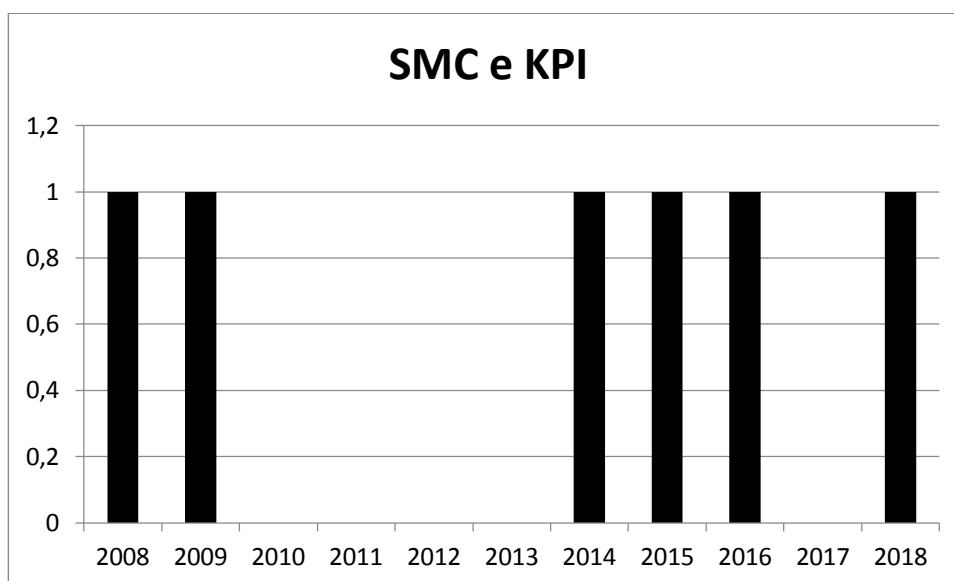
Tabela 1 – Resultados de pesquisa bibliográfica.

Base de dados	Palavra-chave	Ocorrência de publicação
<i>Scopus</i>	<i>“Monte Carlo Simulation”</i>	128.135
<i>Scopus</i>	<i>“Key Performance Indicator”</i>	5.805
<i>Scopus</i>	<i>“Monte Carlo Simulation” e “Environment”</i>	5.072
<i>Scopus</i>	<i>“Key Performance Indicator” e “Environment”</i>	714
<i>Scopus</i>	<i>“Monte Carlo Simulation” e “Key Performance Indicator”</i>	26
<i>Scopus</i>	<i>“Monte Carlo Simulation”, “Key Performance Indicator” e “Environment”</i>	0

Fonte: Adaptado do site do Scopus (2018).

A Figura 3 mostra que em nove anos (de 2009 a 2017) somam-se apenas seis publicações, com estes assuntos combinados.

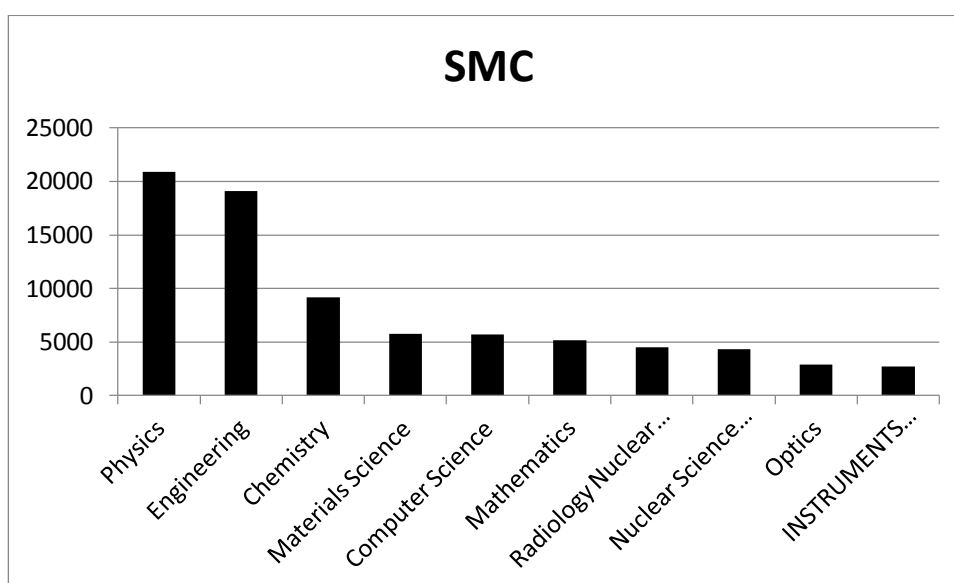
Figura 3 - Publicações sobre SMC e KPIs combinados



Fonte: Web of Science (2018).

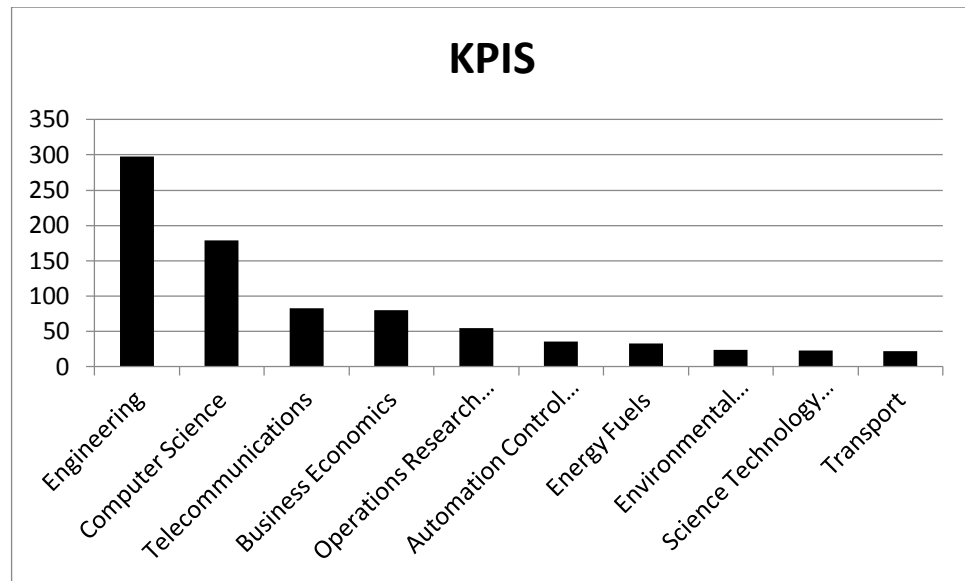
Analisando as áreas de pesquisa dos temas abordados, pode-se perceber que na SMC, na Figura 4, não é encontrado a área de meio ambiente (*Environmental Sciences Ecology*) como uma das áreas mais pesquisadas de Simulação Monte Carlo. Diferente do tema de KPIs (Figura 5), que é possível encontrar 24 publicações, sendo o oitavo assunto mais abordado dentro deste tema.

Figura 4 - Áreas de pesquisa de SMC



Fonte: Adaptado do site Web of Science (2018)

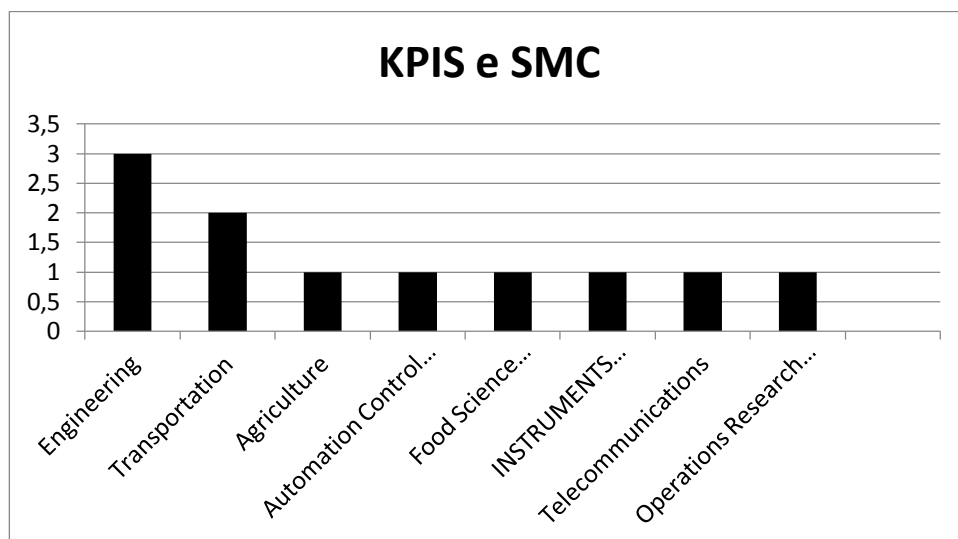
Figura 5 - Áreas de pesquisa de KPIs



Fonte: Adaptado do site Web of Science (2018).

Quando se combinam SMC com KPIs, nenhuma publicação é encontrada dentro da área de meio ambiente, conforme Figura 6, se assemelhando ao tema deste trabalho.

Figura 6 - Áreas de pesquisa de KPIs e SMC



Fonte: Adaptado do site Web of Science (2018).

Conforme análise das Figuras 4 a 6, é possível notar que no site do *Web of Science* não existem publicações que relacionam os três assuntos principais a serem tratados nesse trabalho (KPIs, SMCs e meio ambiente).

1.3 QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS

Para este trabalho foram utilizados dados de uma indústria multinacional de grande porte, localizada na cidade de São Paulo. Atuante do setor de bens de consumo, como foco em cuidados pessoais e cuidados com a limpeza do lar. O período analisado foi de 90 meses.

O trabalho visou responder à duas questões:

- Há vantagens em aplicar a SMC para análise de indicadores ambientais em um contexto de incertezas?
- Como a SMC pode auxiliar gestores na tomada de decisão baseada em indicadores?

O objetivo geral deste trabalho é avaliar os indicadores de desempenho em um contexto sob incerteza aplicando à Simulação Monte Carlo.

Como objetivo específico propõe-se:

- Comparar os resultados dessa sistemática com os resultados dos indicadores sem a inserção das incertezas.

1.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO E MATERIAIS

De acordo com Bertrand e Fransoo (2002) e Miguel *et al.* (2010), o trabalho pode ser classificado, conforme Figura 7, que ilustra a visão geral da classificação de uma pesquisa científica.

Figura 7 - Classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de Bertrand e Fransoo (2002) e Miguel (2012).

Esta pesquisa, então, pode ser classificada como uma pesquisa de natureza aplicada, com objetivos empíricos descritivos, pois visa identificar as relações de causa e efeito entre variáveis, o que favorece a compreensão de processos reais. Será utilizada uma abordagem quantitativa, sendo o procedimento metodológico a Modelagem e Simulação.

Os materiais utilizados são:

- Consulta nos bancos de dados da empresa estudada.
- O software Microsoft Office Excel[®].
- Software *Crystal Ball*[®].

Os critérios utilizados para escolha da empresa foram pela grande representatividade dela no mercado, exequibilidade e facilidade de acesso os dados. Além disso, os KPIs foram coletados por um grande período (mais de sete anos), sendo assim ideal para a realização da simulação.

Os KPIs utilizados para o estudo e para a simulação citados e serão detalhados no capítulo 3:

- Tonelagem da produção;
- Uso da água;

- Eletricidade;
- Gás natural;
- Emissão de gás carbônico.

A escolha dos KPIs deve-se à: quantidade de amostras coletadas, confiabilidade nos números coletados, grande importância para a companhia e para o planeta em termos de meio ambiente.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho se divide em quatro capítulos. O Capítulo dois trata-se da fundamentação teórica, dando informações e conceitos de Indicadores de desempenho (KPIs), Simulação, e também de Simulação Monte Carlo (SMC). O terceiro capítulo apresenta a descrição e modelagem do problema, além da análise dos resultados. No capítulo quatro é abordada as conclusões e recomendações para futuros trabalhos, finalizada com as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada informações e definições de indicadores de desempenho (KPIs) e também abordará Modelagem e Simulação e Simulação Monte Carlo.

2.1 INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores podem ser utilizados para dar informações sobre um sistema físico, social ou econômico, analisando tendências e relações de causa e efeito, podendo enxergar muito mais que os simples dados coletados (VELEVA et. al., 2001).

De acordo com Hao et al. (2014), os KPIs vêm se tornando muito importantes para as indústrias de larga escala. Isso está acontecendo pois, com eles é possível estabelecer relações quantitativas entre diversas variáveis, como, por exemplo, qualidade de produção, eficiência de produção, desempenhos de componentes técnicos, além do consumo de energia e matérias-primas.

Segundo Singh et al. (2008) os indicadores se tornaram uma ferramenta muito útil em áreas como meio ambiente, economia e sociedade. Possuem como melhor característica a capacidade de resumir, concentrar e condensar as complexidades no ambiente, sendo possível observar fenômenos e tendências.

Os negócios podem ser transformados de forma evolutiva por meio da utilização contínua dos indicadores, pois com eles há maior conscientização entre os *stakeholders*. Além de influenciar a missão e objetivos de uma empresa (VELEVA et. al., 2001).

Os KPIs podem ser muito vantajosos, porém, se utilizados imprudentemente, podem ser muito prejudiciais e custosos, como no caso das metas forem muito altas, irreais, improváveis e difícil de atingir (TEE et al., 2014).

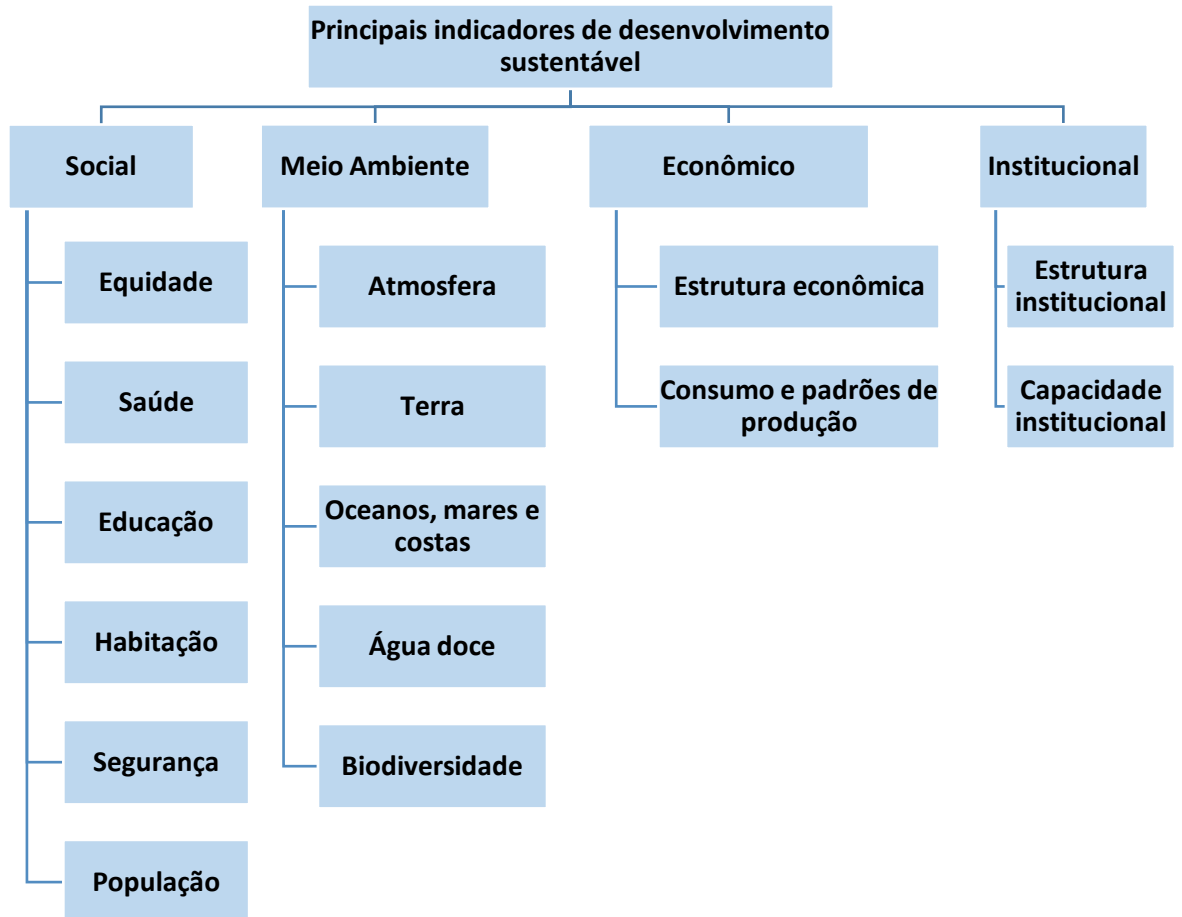
Segundo Gondim (2016), a escolha dos KPIs feita corretamente e o acompanhamento destes podem ser um enorme desafio. Esta dificuldade se dá por integrar e processar dados da melhor forma possível para atingir certas metas estabelecidas, mas como Falconi (2013) diz: uma cultura com metas é essencial para o bom desempenho e crescimento de uma empresa. As metas precisam ser factíveis, seguidas por um plano de ação, acompanhamento, ajustes e padronização. Só assim as metas se tornaram algo bom para a empresa.

As empresas geralmente utilizam indicadores de desempenho para tratar de assuntos relacionados à questão financeira, sempre visando o sucesso dos negócios. Porém, grandes

empresas estão utilizando indicadores ambientais e também de saúde e segurança, geralmente denominados como EHS - *Environment, Healthy and Safety* (VELEVA et. al., 2001).

Os indicadores de desenvolvimento sustentável, segundo o *The United Nations Commission for Sustainable Development*, podem ser classificados segundo a Figura 8.

Figura 8 – Principais indicadores de desenvolvimento sustentável

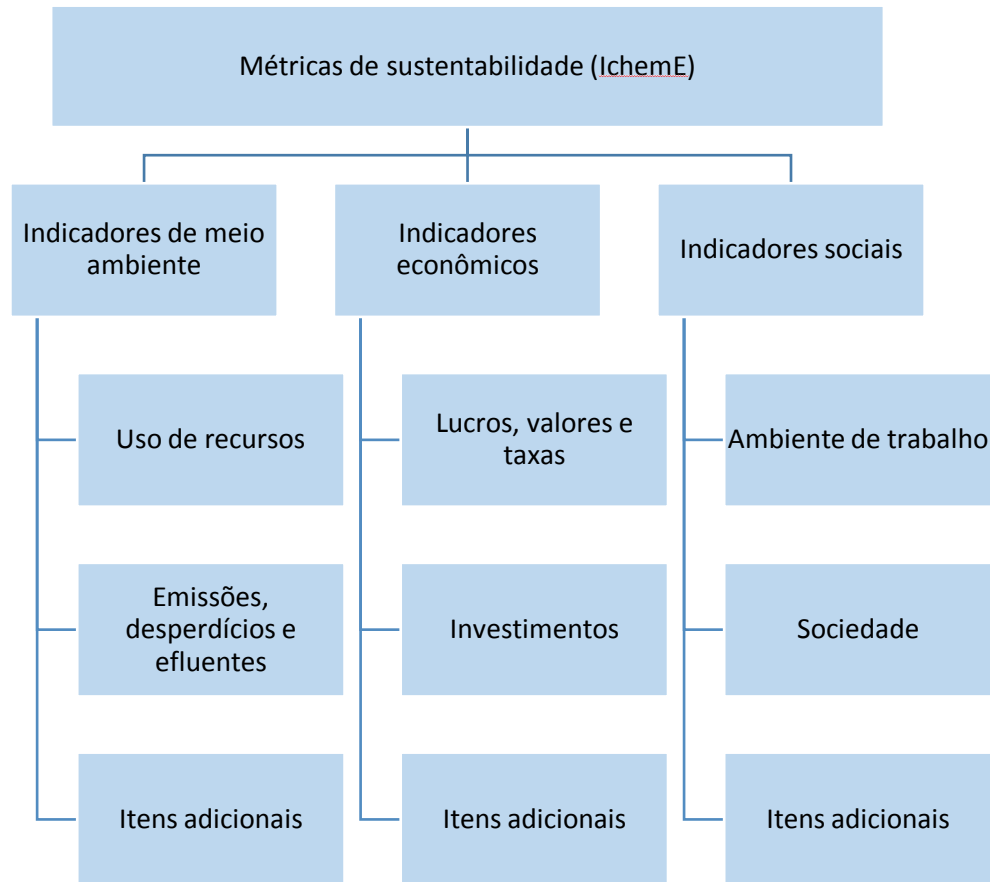


Fonte: Adaptado do quadro de indicadores temáticos do *The United Nations Commission for Sustainable Development (CSD)* (2008).

De acordo com a Figura 8 a parte de meio ambiente pode ser classificada por atmosfera, terra, oceanos e mares, água fresca e biodiversidade. Dentro desta divisão, será abordado neste trabalho as subáreas de atmosfera, terra e água (que serão descritos no Capítulo 3).

Segundo o IChemE – *The Institute of Chemical Engineers*, a classificação de métricas sustentáveis se dá de acordo com a Figura 9. As subdivisões que serão tratadas neste trabalho podem ser classificados na parte de emissões, remissões e efluentes.

Figura 9 – Métricas de sustentabilidade



Fonte: Adaptado do The Institute of Chemical Engineers (IchemE) (2008).

2.2 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Em diversas situações reais é possível ver os modelos de simulação, como, por exemplo, a previsão do tempo, pois ele simula o sistema climático, ou até jogos que simulam atividades. Assim, é possível trazer o conceito de simulação para um contexto do dia-a-dia, não sendo totalmente desconhecido (ROBINSON, 2014).

A Simulação vem sendo muito utilizada por tomadores de decisão em diferentes áreas por conta da sua grande flexibilidade, versatilidade e potencial de análise. A simulação é uma das técnicas mais utilizadas em múltiplos setores, pois sistemas complexos podem ser estudados de forma rápida, flexível e econômica (MIRANDA et al., 2017).

Segundo Diallo et al. (2017), Modelagem e Simulação é uma disciplina que se atenta a resolver problemas, podendo ser aplicada em quase todas as disciplinas (tanto científicas quanto relacionadas à engenharia).

A Simulação pode ser definida pela imitação de um processo/sistema do mundo real, que é assistido conforme o tempo passa. Com a ajuda de um modelo computacional, é

possível fazer avaliações de um sistema, gerando uma história artificial que é capaz de representar um sistema real (BANKS et al., 2009).

Para analisar sistemas complexo a simulação acaba sendo uma ferramenta de modelagem, pois com ela é possível descrever com precisão. Permite descrever um sistema por meio do uso de diversas variáveis e restrições logicamente complexas e elas muitas vezes não são algébricas (LEE et al., 2013).

Segundo Bisogno et al (2015), com a combinação de modelagem e simulação é possível ajudar na visualização inicial do comportamento de um processo. Depois desta visualização inicial, pode-se fazer uma avaliação do desempenho operacional do processo e, assim, conclui-se com a análise dos diferentes cenários de melhoria.

Sem os *softwares* desenvolvidos desta área, os analistas teriam que simular cada cenário individualmente, um de cada vez, fazendo alterações manuais em cada situação para só assim conseguir chegar aos resultados desejados (MIRANDA et al., 2017).

Com essa facilidade que a modelagem e simulação trazem, é possível que a empresa consiga ter um resultado estimado de como estará o cenário caso siga com certas estratégias (claro, depois de executar diferentes simulações dos casos estudados). Outra vantagem ao usar ferramentas de simulação é identificar melhores práticas de engenharia e gerenciamento. Reforçando que o modelo pode ser aplicado a qualquer empresa para avaliar os impactos antes de tomar decisões sobre melhorias. (VALLEJO et al., 2012).

Porém, Miranda et al. (2017) diz que um ponto negativo da simulação é o fato dela fornecer estimativas estatísticas para um problema único (a menos que se faça uma análise de sensibilidade). Outra desvantagem é apesar dos avanços que aconteceram nos *softwares* de otimização, a simulação ainda é considerada um meio relativamente lento e caro quando se precisa estudar sistemas caóticos e dinâmicos.

O mesmo autor diz que mesmo com os avanços no campo da otimização, o tempo de solução geralmente cresce significativamente quando são apresentadas mais de uma variável de decisão. Requerem um grande investimento em termos de dinheiro e tempo para programação e análise (isso que não foi discutido os tempos computacionais).

A partir de estruturas baseadas em teoria é necessário que as ferramentas sejam criadas. Isso precisa ser desta maneira, pois à medida que é utilizada novas áreas computacionais, são necessárias à análise da aplicabilidade de teorias, estruturas e ferramentas que já existem, e assim adaptando-as, ou então, criando novas (DIALLO et al., 2017).

Monte Carlo é uma ótima ferramenta de análise estatística (uma ampla variedade de técnicas de probabilidade). Ela é baseada na amostragem (uso de números aleatórios) além da estatística de probabilidade.

Costuma ser utilizada em problemas complexos de engenharia, já que consegue trabalhar com um grande número de variáveis aleatórias, diversas distribuições e, portanto, modelos não-lineares. A SMC pode ser utilizada para investigar problemas de diversos campos, como, por exemplo, economia, química, fluxo de tráfego, biofísica, física nuclear, entre outros (MARZOUK et al., 2018).

De acordo com Rubinstein et al. (2016), para a geração de números aleatórios (variáveis independentes e distribuídas uniformemente) geralmente são métodos lentos e não garantem reprodutibilidade das sequências numéricas geradas. Com isso, é mais utilizado a geração de números pseudoaleatórios.

A Simulação de Monte Carlo se dá pela geração desses números pseudoaleatórios das variáveis de entrada. Isso só é possível ser feito, pois são consideradas as distribuições estatísticas que mais se adequam a cada variável. Esses números são gerados computacionalmente (utilizando algoritmos), muito parecidos com a geração de números aleatórios. (DENG et al., 2017; KANELLOPOULOS et al., 2015; MESOGISTS et al., 2014).

Um ponto que deve ser considerado quando está se fazendo uma Simulação Monte Carlo com geração de números pseudoaleatórios é a densidade de probabilidade. Isso nada mais é do que a definição da probabilidade do coeficiente ter um valor dentro de um intervalo definido. (MALTBA et al., 2018).

3 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Como foi observada na literatura, a simulação é um método muito importante a ser utilizado nos dias de hoje. Além disso, a utilização de KPIs de meio ambiente é de fundamental importância dentro da indústria, uma vez que visa controlar esses fatores que ganharam tamanha importância.

Este trabalho analisou uma empresa multinacional do ramo de bem de consumo, com mais de uma fábrica localizada no Brasil. A fábrica estudada é focada em cuidados pessoais e cuidados com a limpeza do lar, localizada na cidade de São Paulo. A empresa multinacional americana foi fundada há mais de 200 anos, tem seus produtos vendidos em aproximadamente 220 países, destacando-se por grande parcela do mercado em suas áreas de atuação.

O estudo analisou as métricas da área de EOHS (*Environmental, Occupational Health and Safety*) em português: Meio ambiente, saúde ocupacional e segurança da empresa. Com essas métricas foram realizadas simulações, em um contexto sob incerteza, que contempla a situação e panorama atual de forma mais completa. Para as simulações foram utilizadas o Microsoft Office Excel[®] e uma versão *trial* do software *Crystal Ball*[®].

3.1.1 Descrição dos KPIs

As métricas escolhidas foram da área de EOHS (*Environmental, Occupational Health and Safety*) em português: Meio ambiente, saúde ocupacional e segurança da empresa. Os KPIs escolhidos foram: Tonelagem, Uso da água, Eletricidade, Gás natural e Emissão de gás carbônico.

Para escolha desses KPIs a serem estudados, foi levado em conta a importância e impacto que eles trazem tanto na empresa, quanto na sociedade como um todo. O Quadro 1 descreve cada indicador citado e também mostra qual a unidade de medida para cada um deles. A Tabela 2 mostra quais são as metas da empresa para cada um.

Quadro 1- Descrição dos indicadores e unidade de medida

Indicador	Descrição	Unidade de medida
Tonelagem	Quantidade produzida	[Toneladas]
Uso da água	Quantidade de água utilizada para a produção	[m ³]
Eletricidade	Quantidade de eletricidade utilizada pela fábrica	[Kwh]
Gás Natural	Quantidade de gás natural utilizado pela fábrica	[m ³]
Emissão de gás carbônico	Quantidade de gás carbônico emitido pela fábrica	[Toneladas]

Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 2 - Metas da empresa para os indicadores

Indicador	Metas	
Tonelagem	Acima de	28.871
Uso da água	Abaixo de	36.089
Eletricidade	Abaixo de	6.170.392
Gás Natural	Abaixo de	1.064.343
Emissão de gás carbônico	Abaixo de	2.436

Fonte: Produção do próprio autor.

Para as simulações, os KPIs são calculados a partir da divisão entre os indicadores. Serão utilizados os seguintes KPIs: gás carbônico por tonelagem, uso da água por tonelagem, eletricidade por tonelagem e gás natural por tonelagem. Portanto, as metas da empresa podem ser determinadas conforme Tabela 3.

Tabela 3- Metas da empresa para cada KPI

KPI	Metas	
	Uso da água/tonelagem	Abaixo de
Eletricidade/tonelagem	Abaixo de	213,72
Gás Natural/tonelagem	Abaixo de	36,87
Emissão de gás carbônico/tonelagem	Abaixo de	0,08

Fonte: Produção do próprio autor.

Ou seja, cada KPI obedece a uma função de $y = f(x)$, sendo ela: $y = \frac{x_1}{x_2}$. A atribuição de cada elemento pode ser encontrada na Quadro 2.

Quadro 2 – Elementos das funções de cada KPI

y	x_1	x_2
Uso da água/tonelagem	Uso da água	Tonelagem
Eletricidade/tonelagem	Eletricidade	Tonelagem
Gás Natural/tonelagem	Gás Natural	Tonelagem
Emissão de gás carbônico/tonelagem	Emissão de gás carbônico	Tonelagem

Fonte: Produção do próprio autor.

3.2 SIMULAÇÃO

As simulações foram feitas a partir dos dados apresentados na seção 3.2.1, executando 100.000 corridas ou replicações, com 95% de confiança (quando aplicável). A classificação por estatística de grau de adequação utilizada foi a Qui-quadrado.

3.2.1 Coleta de dados

Os dados estudados foram coletados pela própria empresa durante 90 meses consecutivos, de janeiro de 2011 a junho de 2018, como pode ser consultado no Apêndice A.

3.2.2 Melhor distribuição para cada KPI

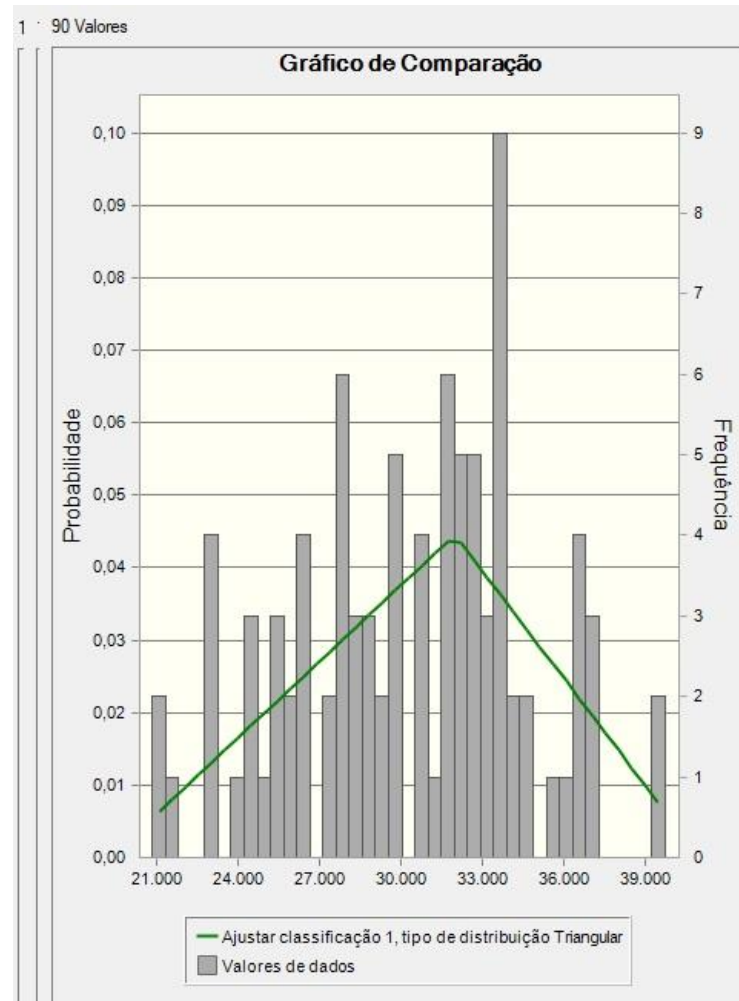
Para fazer a utilização da Simulação Monte Carlo, é necessário determinar qual a melhor distribuição para cada indicador a ser estudado. Para isso, é feito o teste de aderência no *software Crystal Ball*[®], em que irá indicar qual distribuição testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados, sendo a Hipótese Nula H_0 a distribuição de probabilidade que se adequa a amostra de dados analisada. A classificação por estatística de grau de adequação utilizada para determinar as melhores distribuições foi a Qui-quadrado (P-valor).

Neste teste de aderência é apresentado o valor de p Qui-quadrado para cada indicador. Ou seja, quando o valor de p for maior que 5% (0,05) se aceita H_0 . Caso haja mais de um resultado maior que 0,05 (aceitáveis), deve-se escolher o valor de p Qui-quadrado que mais se aproxima de 1.

3.2.2.1 Distribuição da tonelagem

Conforme Figura 10 e Figura 11 é possível observar que a melhor distribuição para o conjunto de dados é a Triangular. A Figura 12 mostra a distribuição com seus valores de mínimo, máximo e valor mais provável.

Figura 10 - Gráfico de comparação do teste de aderência para tonelagem



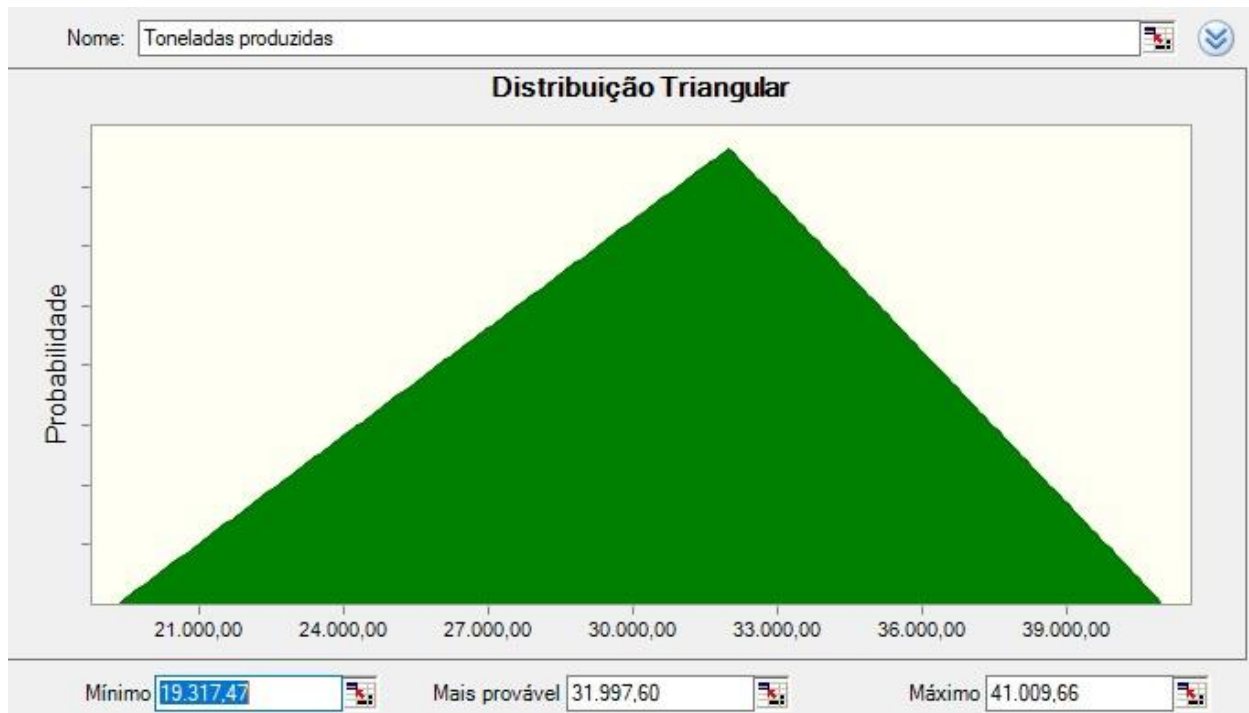
Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 11 – Dados do teste de aderência para tonelagem

Dividir Exibição						
Classificado por: Qui-quadrado						
Distribuição	A-D	Valor de P A-D	K-S	Valor de P K-S	Qui-quadrado	Valor de P Qui-quadrado
Triangular	,6854	---	,0993	---	6,0667	0,532
Weibull	,3268	0,354	,0680	0,273	9,2444	0,236
Gama	,5336	0,093	,0895	0,040	10,4667	0,164
Beta	.3245	---	,0672	---	10,4667	0,106
Normal	,4817	0,235	,0855	0,115	11,2000	0,191
Lognormal	,4820	0,162	,0855	0,073	11,2000	0,130
BetaPERT	,4090	---	,0828	---	11,4444	0,120
Logística	,5987	0,076	,0815	0,067	11,6889	0,166
Extremo Mín	,6322	0,102	,0762	0,232	12,6667	0,124
Extremo Máx	1,6211	0,000	,1145	0,000	24,4000	0,002
T de student	2,7203	---	,1518	---	32,7111	0,000
Uniforme	3,5035	0,000	,1594	0,015	34,1778	0,000
Pareto	14,2617	---	,2905	---	95,2889	0,000
Exponencial	30,5725	0,000	,4973	0,000	330,9333	0,000

Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 12 – Distribuição triangular para tonelagem

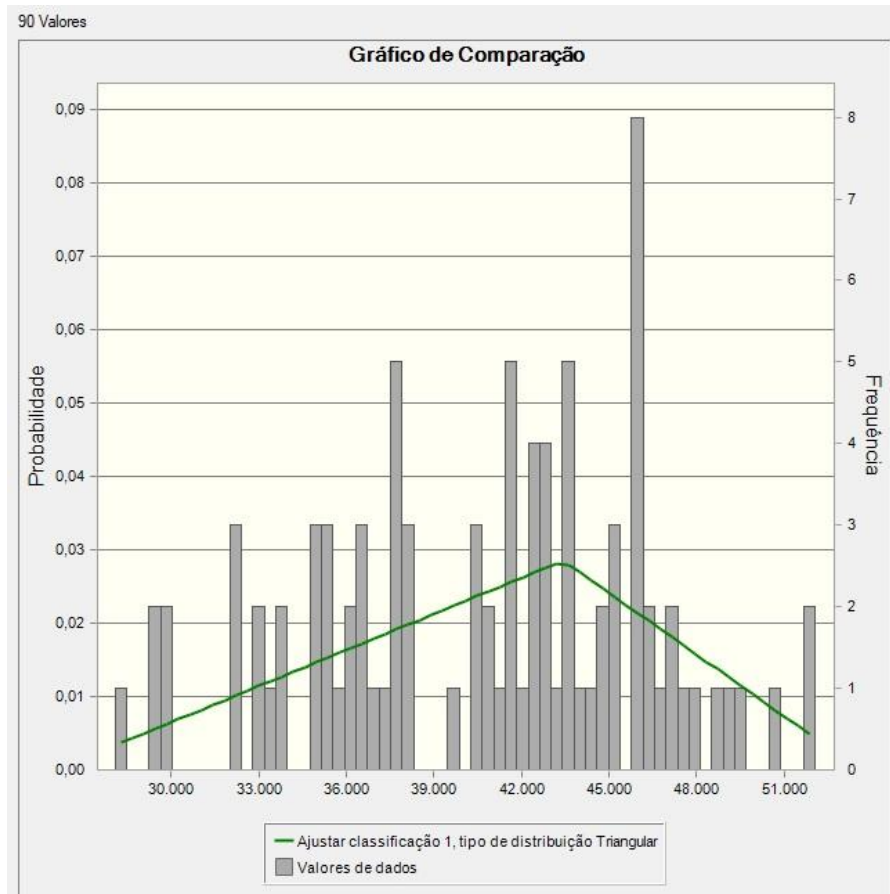


Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.2.2 Distribuição do uso da água

Como mostra a Figura 13 e Figura 14 a melhor distribuição para o conjunto de dados do uso da água é a Triangular. A distribuição com seus valores de mínimo, máximo e valor mais provável é encontrada na Figura 15.

Figura 13 - Gráfico de comparação do teste de aderência para uso da água



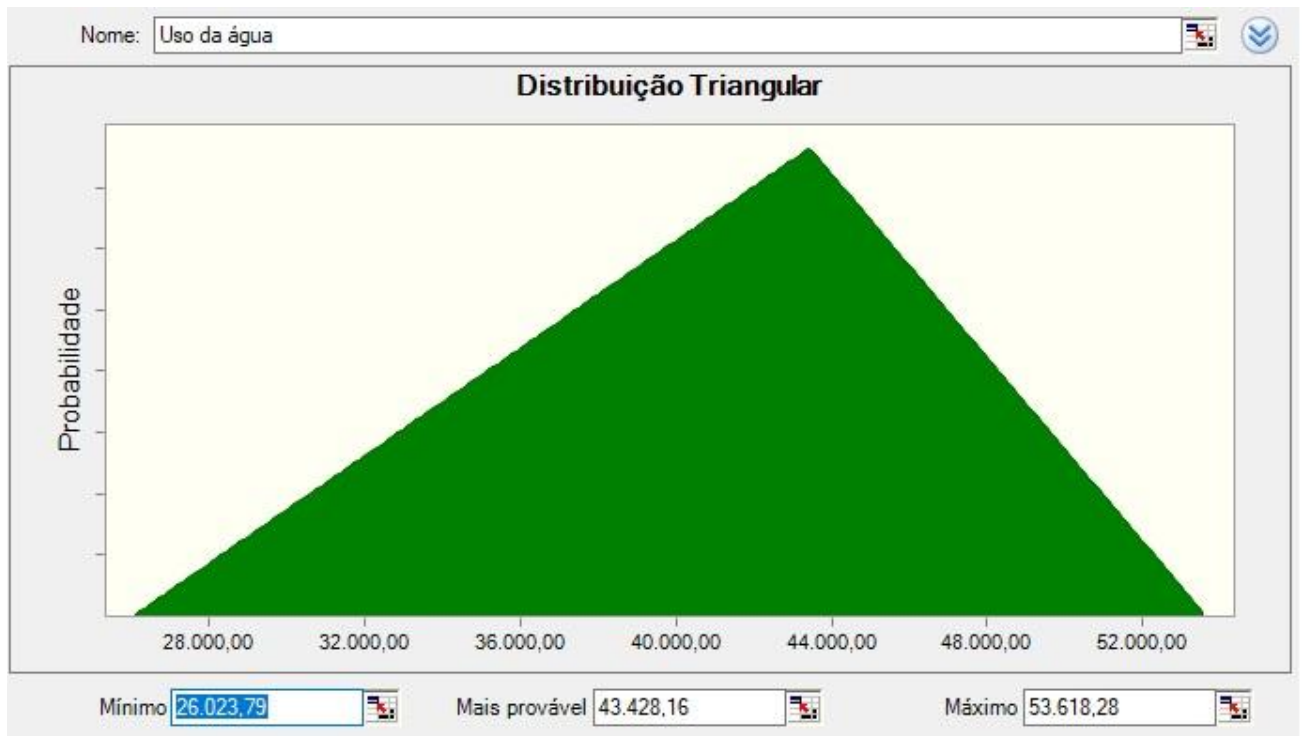
Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 14 – Dados do teste de aderência para uso da água

Dividir Exibição						
Classificado por: Qui-quadrado						
Distribuição	A-D	Valor de P A-D	K-S	Valor de P K-S	Qui-quadrado	Valor de P Qui-quadrado
Triangular	,4229	---	,0774	---	5,5778	0,590
BetaPERT	,7257	---	,0685	---	9,7333	0,204
Logística	,8470	0,015	,0810	0,070	9,7333	0,284
Extremo Mín	,5341	0,179	,0910	0,063	10,4667	0,234
Weibull	,4570	0,135	,0702	0,230	10,7111	0,152
Normal	,7170	0,059	,0889	0,086	11,9333	0,154
Lognormal	,7174	0,032	,0889	0,054	11,9333	0,103
Beta	,4757	---	,0646	---	11,9333	0,063
Gama	,7813	0,015	,0931	0,027	12,9111	0,074
Extremo Máx	1,8681	0,000	,1362	0,000	23,6667	0,003
Uniforme	3,3817	0,011	,1403	0,047	30,0222	0,000
T de student	4,9474	---	,1633	---	52,2667	0,000
Pareto	14,6320	---	,3050	---	122,9111	0,000
Exponencial	30,8150	0,000	,5033	0,000	364,9111	0,000

Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 15 - Distribuição triangular para uso da água

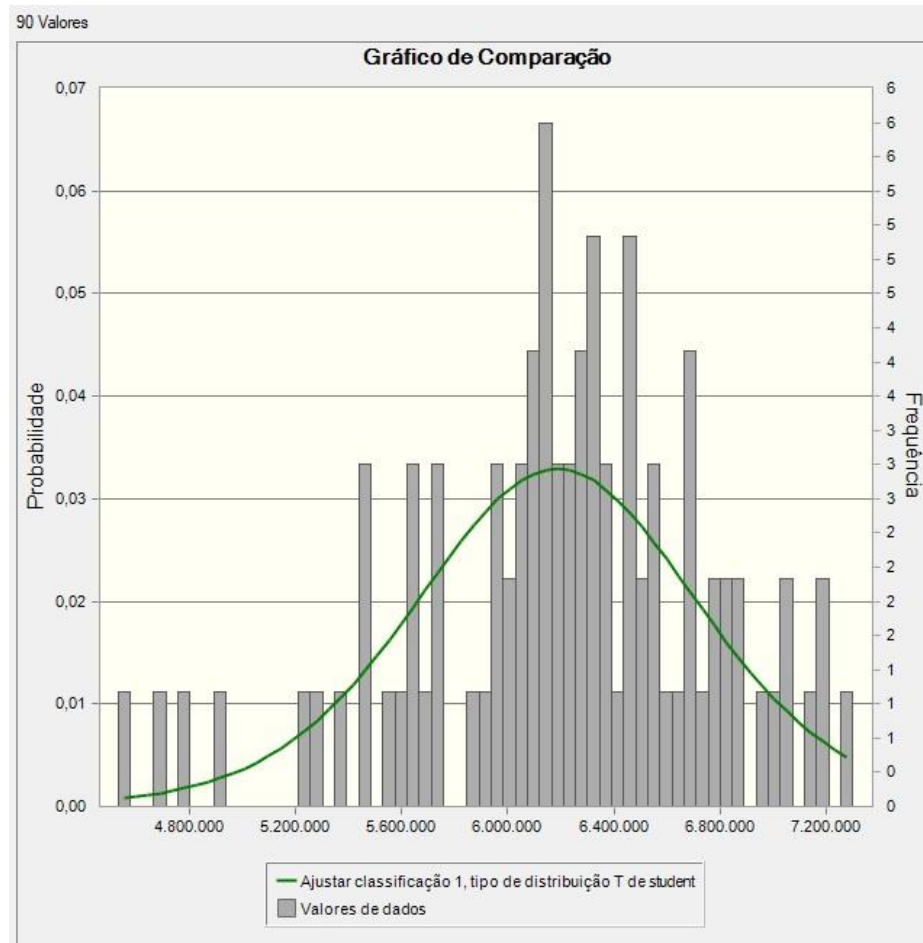


Fonte: Crystal Ball[®] (2018).

3.2.2.3 Distribuição de eletricidade

A Figura 16 e a Figura 17 mostra o teste de aderência para eletricidade, apresentando a distribuição de T de *student* como melhor distribuição. Seus valores de ponto intermediário, escala e graus de liberdade bem como a distribuição são exibidos na Figura 18.

Figura 16 - Gráfico de comparação do teste de aderência para eletricidade

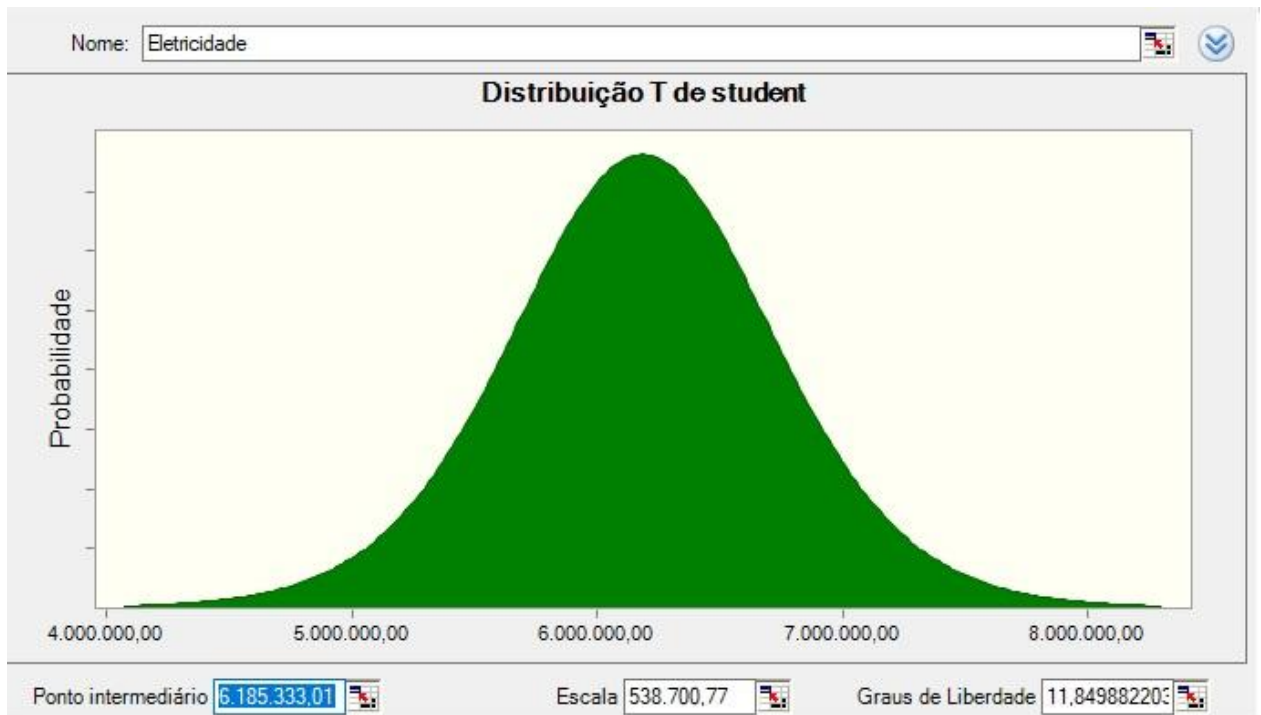


Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 17 - Dados do teste de aderência para eletricidade

Dividir Exibição						
Classificado por: Qui-quadrado						
Distribuição	A-D	Valor de P A-D	K-S	Valor de P K-S	Qui-quadrado	Valor de P Qui-quadrado
T de student	,8008	---	,1019	---	6,0667	0,532
Gama	1,1081	0,000	,1114	0,000	6,8000	0,450
Normal	,9842	0,012	,1068	0,015	7,0444	0,532
Weibull	,3842	0,449	,0596	0,586	7,0444	0,424
Beta	,4395	---	,0617	---	7,0444	0,317
Extremo Mín	,5180	0,195	,0687	0,388	7,5333	0,480
Logística	,5088	0,141	,0696	0,229	10,2222	0,250
Lognormal	1,6841	0,000	,1290	0,000	14,1333	0,049
BetaPERT	1,6729	---	,1212	---	15,3556	0,032
Triangular	3,7376	---	,1851	---	22,4444	0,002
Extremo Máx	4,1734	0,000	,1631	0,000	31,9778	0,000
Uniforme	12,2333	0,000	,3009	0,000	59,6000	0,000
Pareto	21,8185	---	,3911	---	182,0667	0,000
Exponencial	34,1673	0,000	,5151	0,000	364,1778	0,000

Fonte: Crystal Ball® (2018).

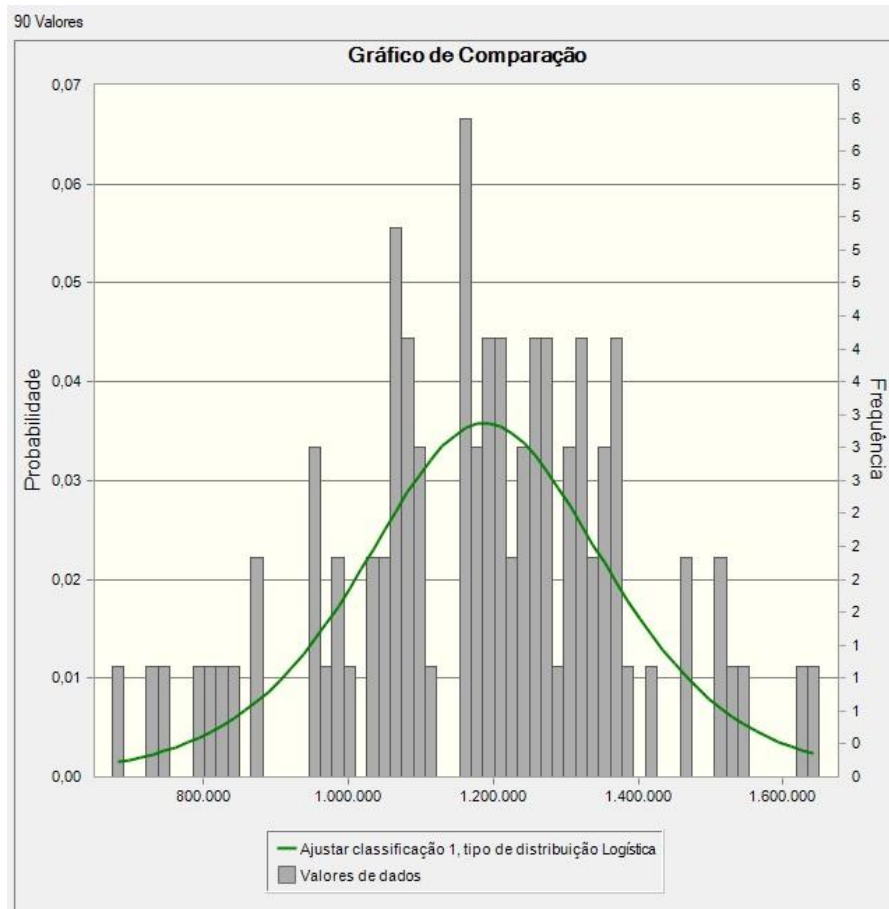
Figura 18 – Distribuição T de *student* para eletricidade

Fonte: Crystal Ball[®] (2018).

3.2.2.4 Distribuição de gás natural

Como ilustrado na Figura 19 e na Figura 20 é possível considerar como melhor distribuição a distribuição logística. A Figura 21 mostra a distribuição com seus valores de média e escala.

Figura 19 – Gráfico de comparação do teste de aderência para gás natural



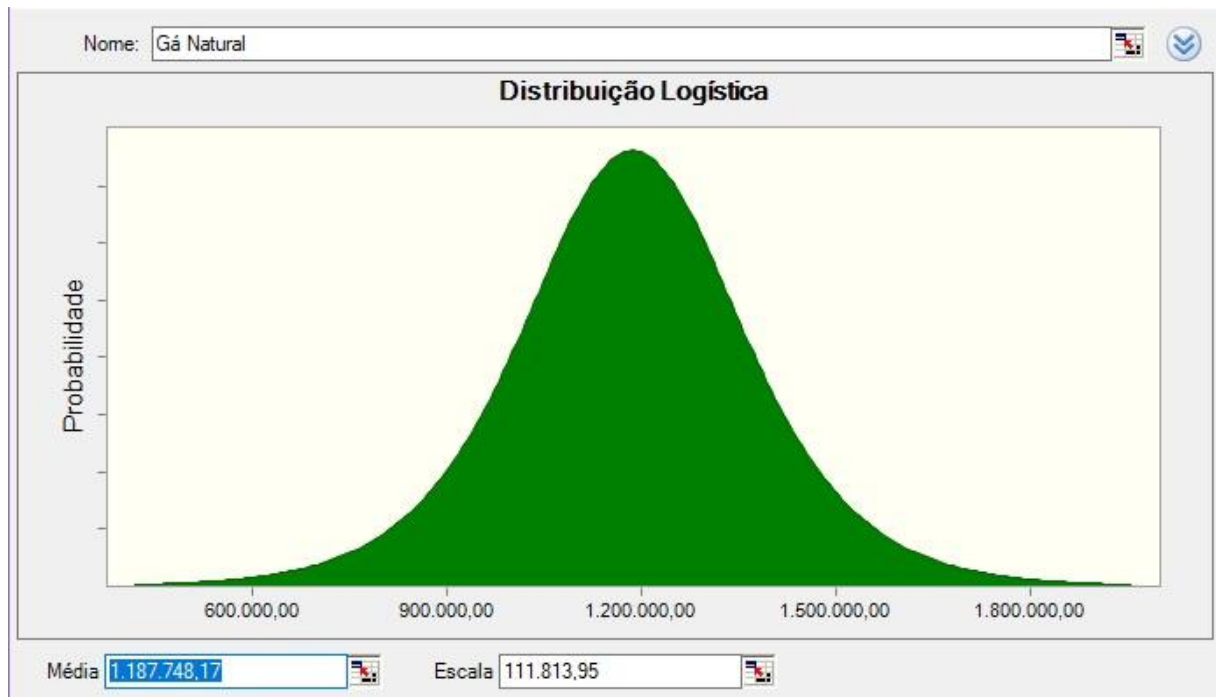
Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 20 – Dados do teste de aderência para gás natural

Dividir Exibição						
Classificado por: Qui-quadrado						
Distribuição	A-D	Valor de P A-D	K-S	Valor de P K-S	Qui-quadrado	Valor de P Qui-quadrado
Logística	,2977	0,542	,0578	0,548	2,1556	0,976
Weibull	,3299	0,347	,0606	0,469	8,5111	0,290
Normal	,4167	0,339	,0768	0,231	8,7556	0,363
Lognormal	,4171	0,249	,0769	0,165	8,7556	0,271
Gama	,4700	0,151	,0809	0,103	8,7556	0,271
Beta	,4191	---	,0767	---	8,7556	0,188
Extremo Mín	,9549	0,015	,0812	0,151	8,7556	0,363
BetaPERT	1,2922	---	,1227	---	10,7111	0,152
Triangular	1,2315	---	,1042	---	17,3111	0,015
Extremo Máx	2,2782	0,000	,1297	0,000	20,2444	0,009
T de student	2,4801	---	,1302	---	25,8667	0,001
Uniforme	6,1344	0,000	,1885	0,000	50,5556	0,000
Pareto	19,1452	---	,3659	---	193,8000	0,000
Exponencial	28,8991	0,000	,4564	0,000	294,7556	0,000

Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 21 - Distribuição logística para gás natural

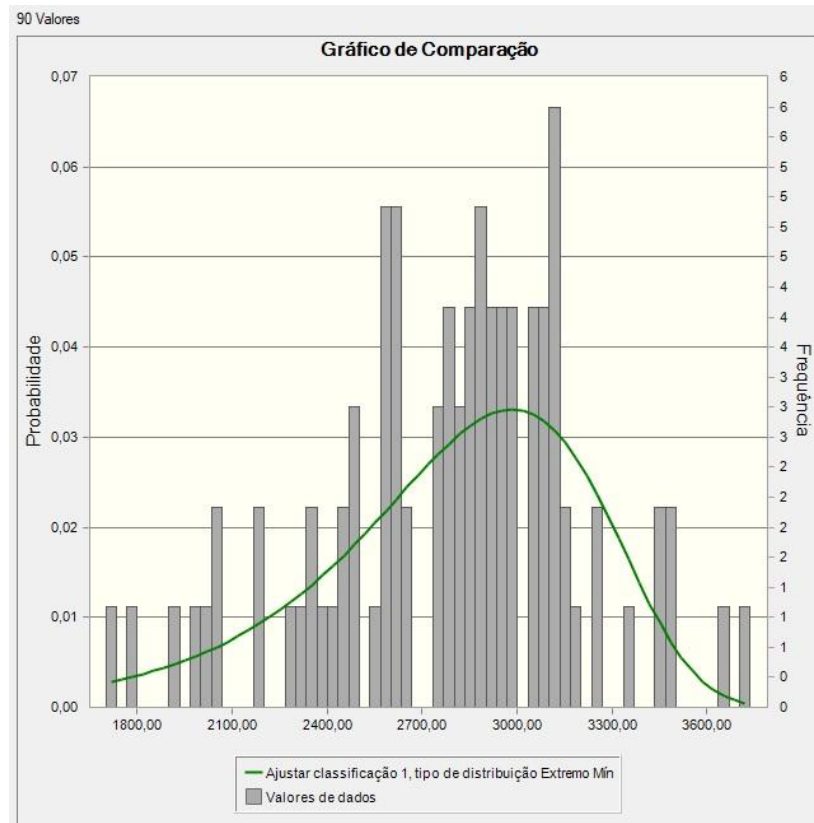


Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.2.5 Distribuição de emissão de gás carbônico

Conforme a Figura 22 e a Figura 23 para o conjunto de dados considerado a melhor distribuição é a Extremo Mínimo, como pode ser observado na Figura 24 junto com seus valores mais significativos.

Figura 22 – Gráfico de comparação do teste de aderência para emissão de gás carbônico



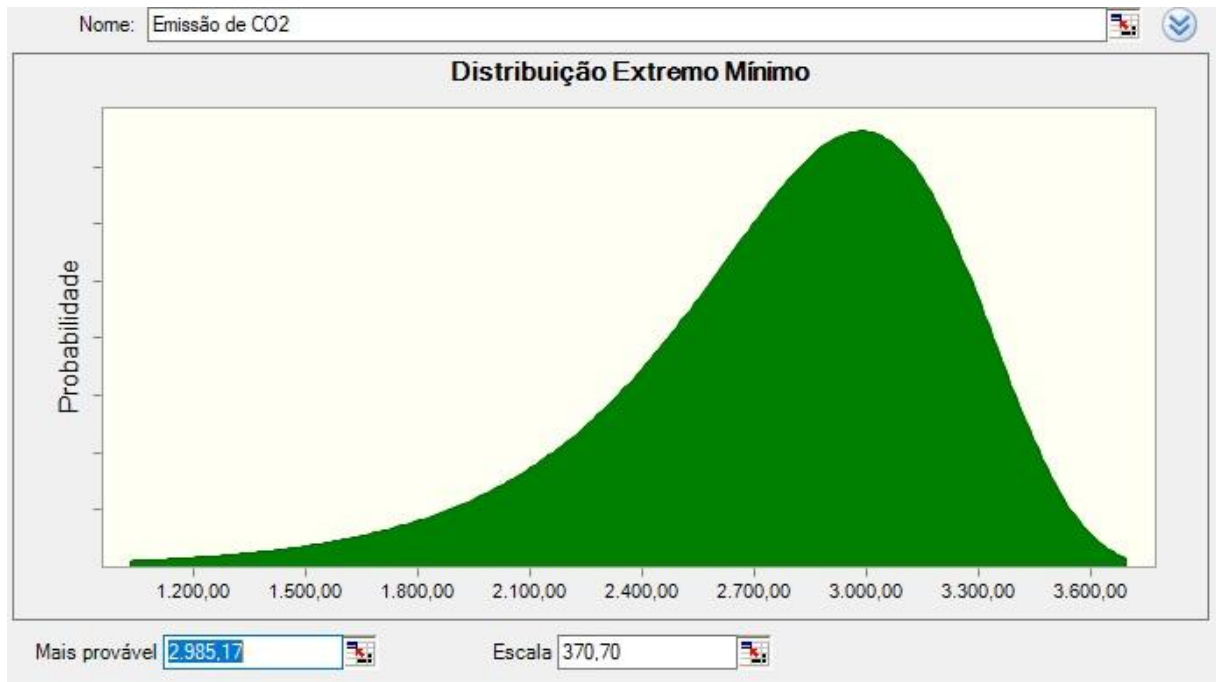
Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 23 - Dados do teste de aderência para emissão de gás carbônico

Dividir Exibição						
Classificado por: Qui-quadrado						
Distribuição	A-D	Valor de P A-D	K-S	Valor de P K-S	Qui-quadrado	Valor de P Qui-quadrado
Extremo Min	,9146	0,019	,1007	0,022	12,1778	0,143
Logística	,5165	0,133	,0707	0,210	12,4222	0,133
Weibull	,4683	0,270	,0807	0,131	15,8444	0,027
T de student	,6885	---	,0878	---	19,2667	0,007
BetaPERT	2,3308	---	,1711	---	20,0000	0,006
Triangular	1,8027	---	,1283	---	21,4667	0,003
Normal	,7346	0,053	,0890	0,085	22,6889	0,004
Lognormal	,7351	0,029	,0890	0,053	22,6889	0,002
Gama	,8150	0,011	,0932	0,027	22,6889	0,002
Beta	,7373	---	,0889	---	22,6889	0,001
Extremo Máx	2,9592	0,000	,1377	0,000	26,8444	0,001
Uniforme	7,2819	0,000	,2064	0,000	64,2444	0,000
Pareto	19,9411	---	,3704	---	217,7556	0,000
Exponencial	30,6453	0,000	,4772	0,000	309,1778	0,000

Fonte: Crystal Ball® (2018).

Figura 24 - Distribuição Extremo Mínimo para tonelagem



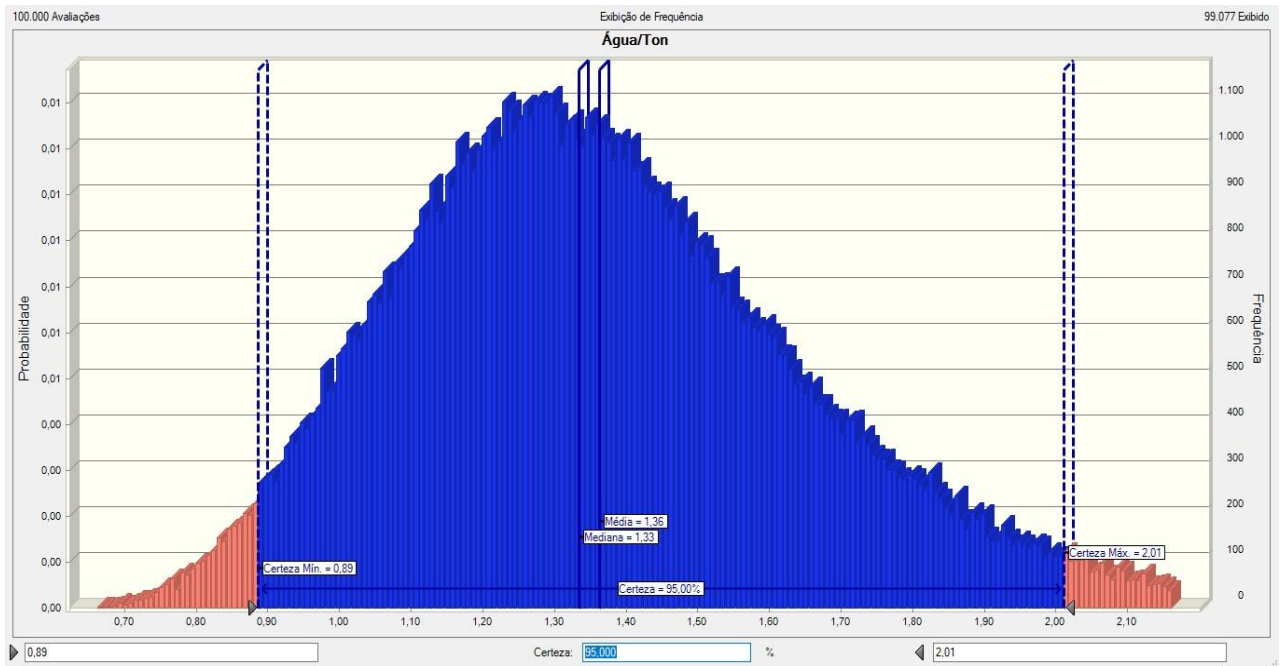
Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.3 Simulação de uso da água por tonelagem

A simulação foi aplicada calculando-se os KPIs conforme o Quadro 2, ou seja, neste caso: uso da água por tonelagem.

Foram simuladas 100.000 rodadas (padrão para todas as simulações utilizadas neste trabalho). A Figura 25 mostra a simulação com 95% de confiança variando entre 0,89 e 2,01.

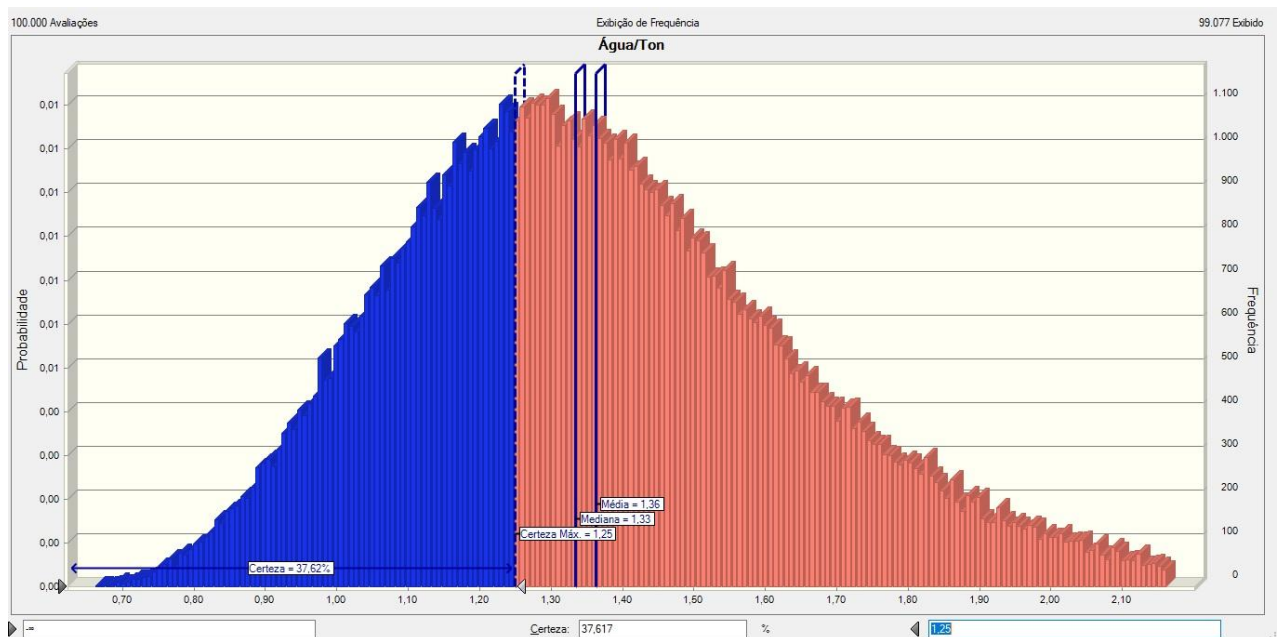
Figura 25 – Simulação de uso da água por tonelagem com 95% de confiança



Fonte: Crystal Ball® (2018).

Já na Figura 26 é simulado com a meta da empresa: abaixo de 1,25 (Tabela 3), apresentando 37,62% de chances de este valor ser abaixo de 1,25.

Figura 26 - Simulação de uso da água por tonelagem com as metas da empresa



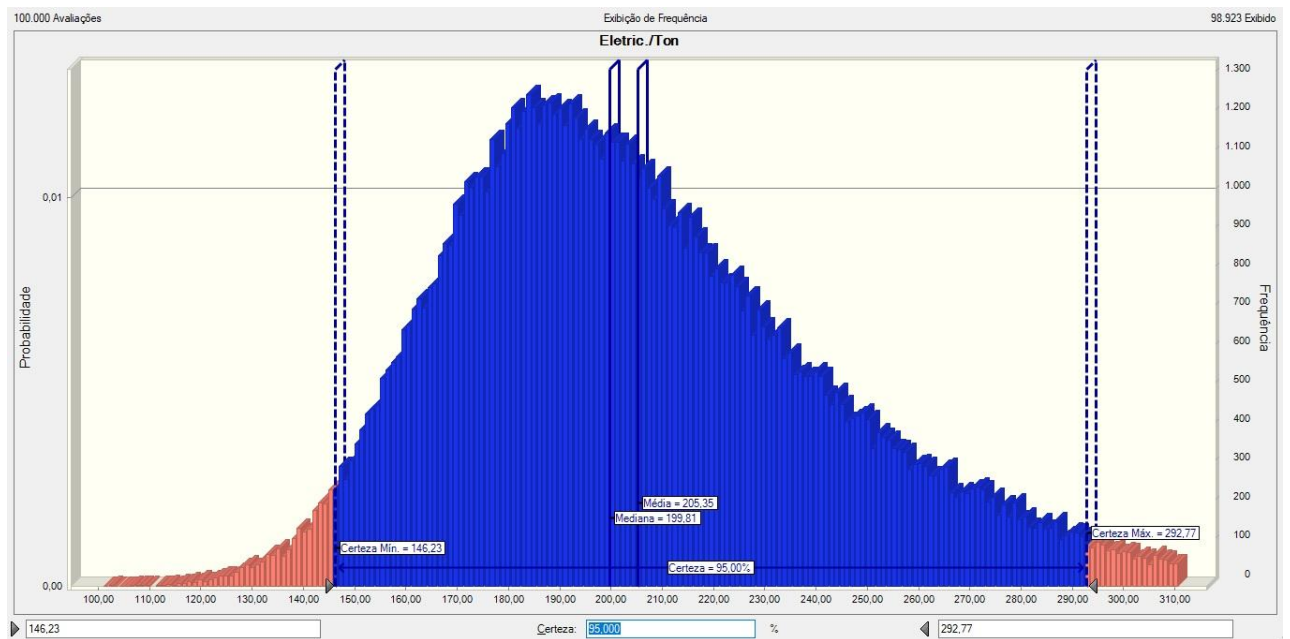
Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.4 Simulação de eletricidade por tonelagem

O KPI utilizado nesta simulação é o de eletricidade por tonelagem e a simulação seguiu o padrão de número de rodadas.

Com o intervalo de confiança de 95%, a Figura 27 mostra um intervalo de 146,23 a 292,77.

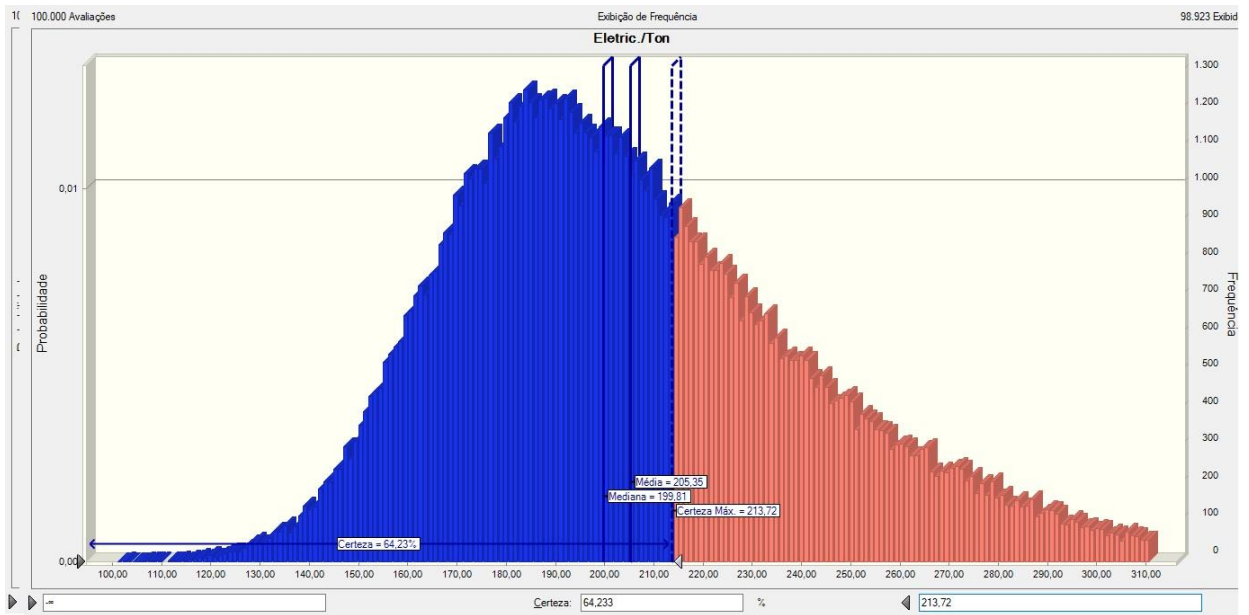
Figura 27 – Simulação de eletricidade por tonelagem com 95% de confiança



Fonte: Crystal Ball® (2018).

Quando é analisada a meta da empresa para este KPI: abaixo de 213,72 (Tabela 3) é possível observar na Figura 28 que há 64,23% de chances de estar dentro da meta estabelecida.

Figura 28 - Simulação de eletricidade por tonelagem com as metas da empresa

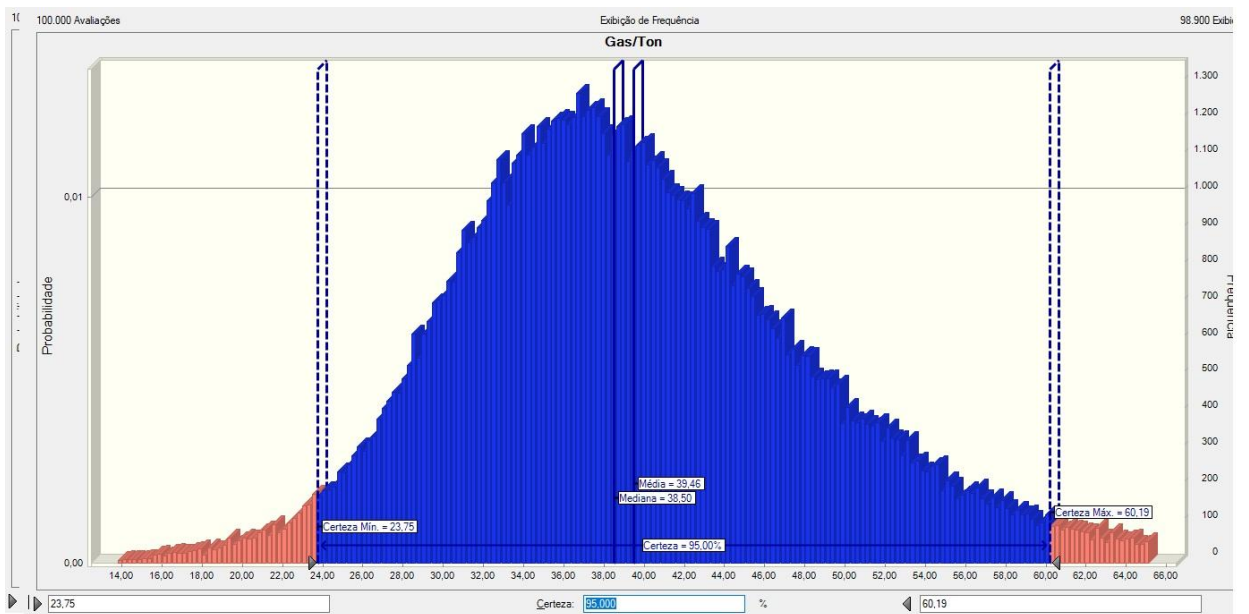


Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.5 Simulação de gás natural por tonelagem

Utilizando 95% de intervalo de confiança, chega-se ao intervalo de valores de 23,75 a 60,19, conforme mostra a Figura 29.

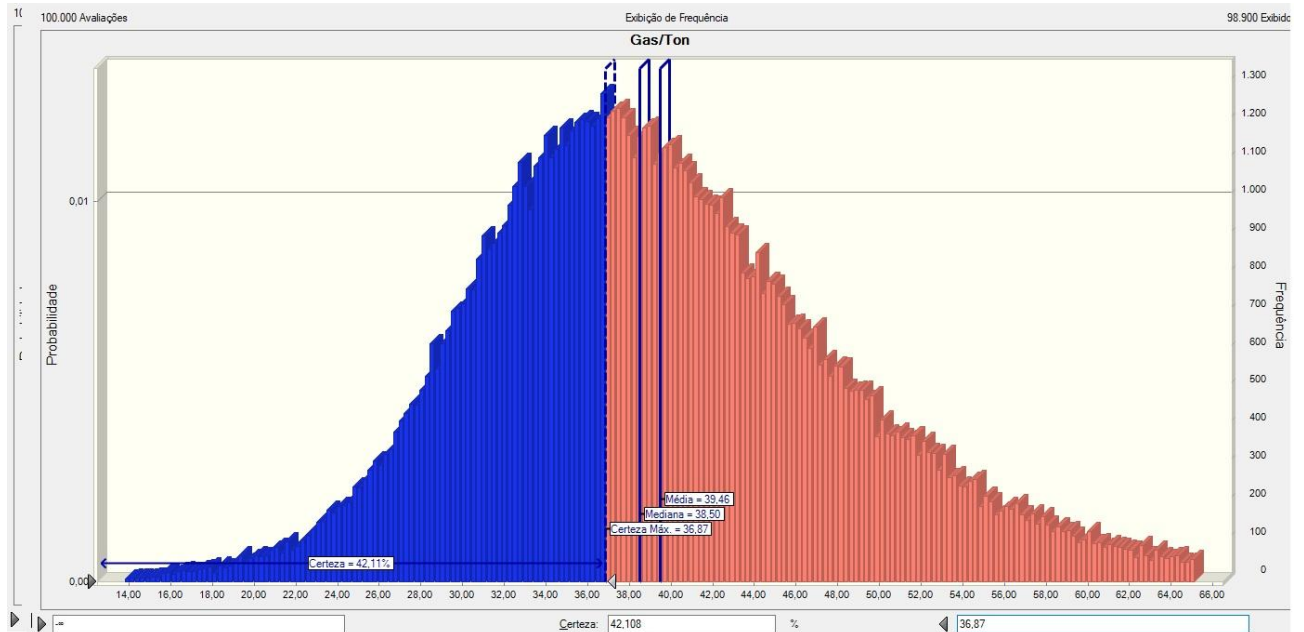
Figura 29 - Simulação de gás natural por tonelagem com 95% de confiança



Fonte: Crystal Ball® (2018).

De acordo com a Tabela 3 este KPI (gás natural/tonelagem) apresenta como meta da empresa um valor de 36,87. Na simulação feita dentro dos padrões estabelecidos a Figura 30 mostra que as chances de ser abaixo desta meta é de 42,11%

Figura 30 - Simulação de gás natural por tonelagem com as metas da empresa

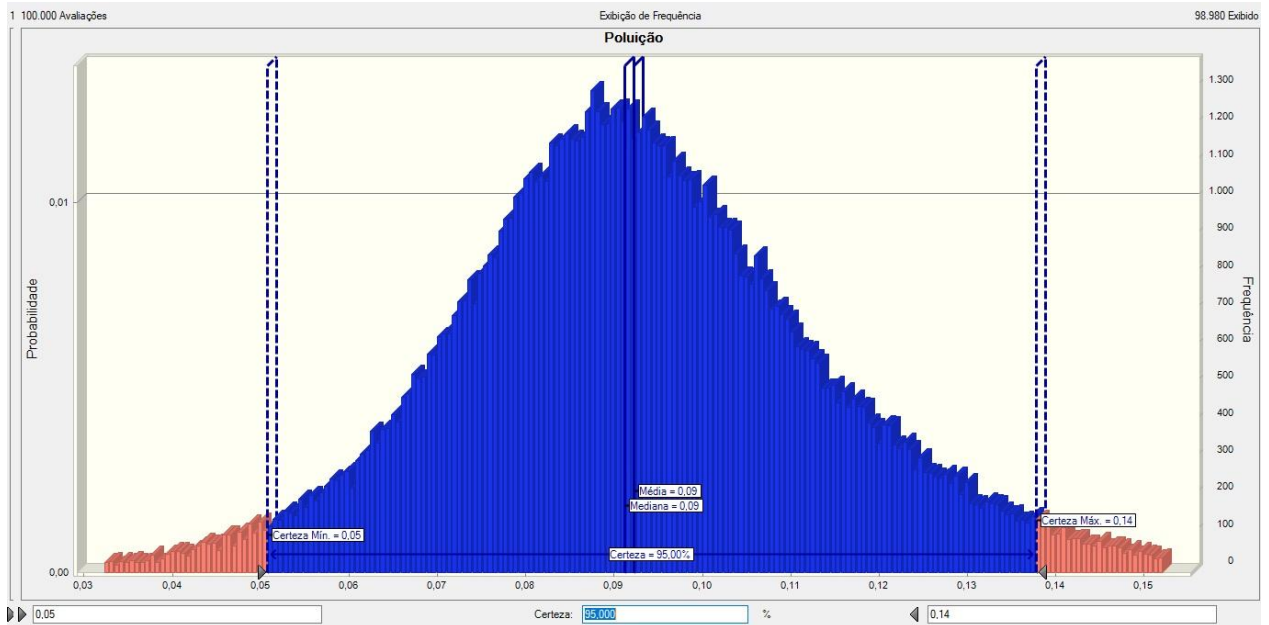


Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.2.6 Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem

Quando é feita a simulação do KPI de emissão de gás carbônico por tonelagem (nos mesmos padrões já feitos anteriormente) é possível observar que utilizando 95% de confiança (Figura 31) os valores variam entre 0,05 e 0,14.

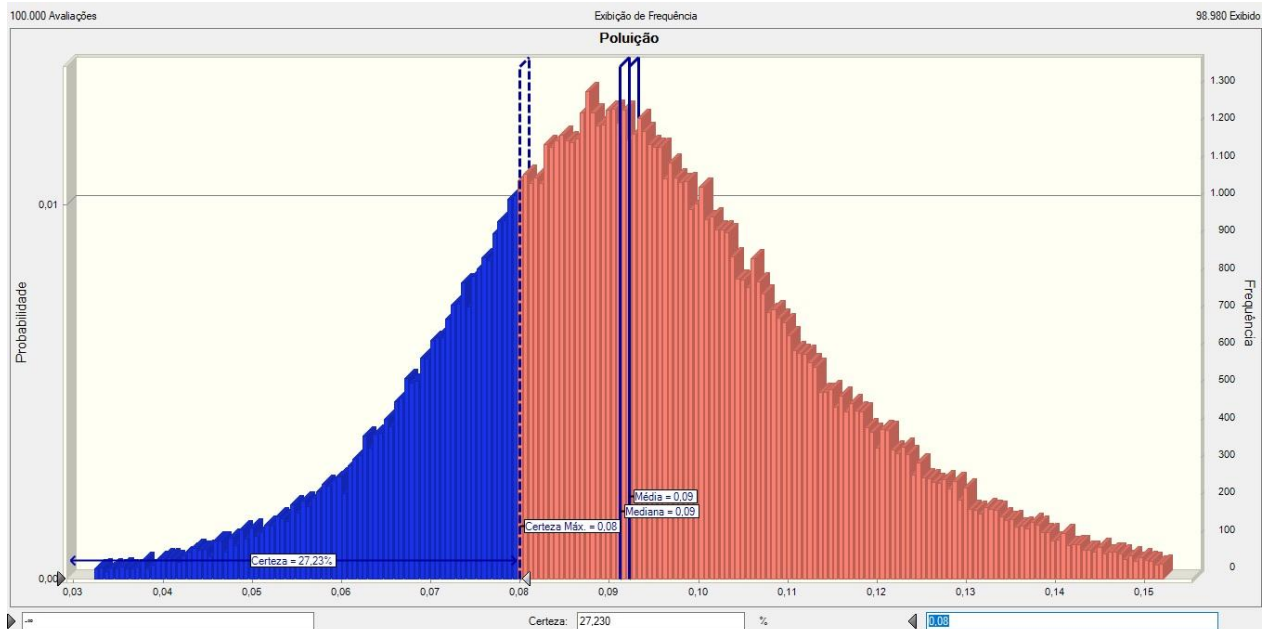
Figura 31 – Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem com 95% de confiança



Fonte: Crystal Ball® (2018).

Comparando com as metas da empresa apresentadas na Tabela 3 (abaixo de 0,08), a Figura 32 mostra que há 27,23% deste valor ser menor que 0,08.

Figura 32 - Simulação de emissão de gás carbônico por tonelagem com as metas da empresa



Fonte: Crystal Ball® (2018).

3.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A simulação feita com o KPI de uso da água por tonelagem mostrou um intervalo de valores de 0,89 a 2,01 com 95% de confiança. Sua média foi de 1,36 e mediana 1,33. Como definido anteriormente, a meta da empresa estudada é abaixo de 1,25. Os resultados mostram que a probabilidade desta meta ser alcançada é de 37,62%.

Já a simulação de eletricidade por tonelagem mostrou que os valores podem variar de 146,23 a 292,77 (com 5 % de incerteza), apresentando uma média de 205,35 e mediana de 199,81. Neste caso, há 64,23% de chances da meta ser alcançada (abaixo de 213,72).

Para o KPI de gás natural por tonelagem, com 95% de confiança apresentam-se os valores de 23,75 até 60,19. Além disso, sua média é 39,46 e mediana é 38,50. Para atingir a meta da empresa de ser menor que 36,87 a empresa possui uma probabilidade de 42,11%.

A última simulação foi feita com o KPI de emissão de gás carbônico por tonelagem, que mostrou que com 5% de incerteza é possível observar um intervalo de 0,05 a 0,14 e uma média e mediana de mesmos valores aproximados de 0,09. Os resultados mostram que para a meta estabelecida para esse KPI (abaixo de 0,08), há apenas 27,23% de chances de atingi-la.

Levando em consideração os resultados apresentados, é possível perceber que as metas estabelecidas pela empresa em questão são muito desafiadoras. Apenas para um dos KPIs discutidos (eletricidade/tonelagem) há mais de 50% de atingir o máximo definido por ela (64,23%). Apesar de este valor ser maior que 50%, ainda possui uma baixa probabilidade de ser atingida.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

4.1 VERIFICAÇÃO DAS QUESTÕES DA PESQUISA E OBJETIVOS

Conforme apresentado foi possível atender todos os objetivos e questões desta pesquisa, pois, foi analisado KPIs em um contexto sob incerteza, tendo como fundamento os dois temas abordados: indicadores de desempenho e Simulação Monte Carlo.

Foram observadas as projeções destes indicadores, e, ao final das simulações, pode-se confirmar que há vantagens em aplicar a SMC na análise de indicadores ambientais em um contexto de incertezas.

Com o estudo feito foi possível observar o comportamento dos indicadores de uma forma diferente de como a empresa estava analisando, pois se considerava apenas o histórico dos dados capturados. Agora, é possível entender melhor o comportamento de cada dado apresentado.

Além disso, há também o estudo feito com cada KPI específico, que tem tamanha importância uma vez que relaciona os indicadores de meio ambiente com a tonelagem produzida da empresa.

Com certeza auxiliará na tomada de decisão dos gestores da empresa, pois, foi apenas após a aplicação da Simulação de Monte Carlo que foi possível ver o quanto as metas estão desafiadoras e difíceis de serem alcançadas por ela.

Com os resultados obtidos, os gestores da empresa estudada poderão focar seus esforços em, primeiramente, entender o porquê essas metas estão tão desafiadoras, e assim, transformar as metas em algo mais condizente com a realidade. Além disso, poderão concentrar-se no indicador que teve pior resultado do ponto de vista da empresa, mudando seus esforços para melhorar o índice desse KPI específico.

Ao longo do trabalho, os indicadores de meio ambiente foram selecionados e descritos. Simulações Monte Carlo foram realizadas por meio do Software Microsoft Office Excel[®] e Crystal Ball[®].

Como a Simulação Monte Carlo traz possíveis resultados e probabilidades de ocorrência, o estudo poderia ser replicado mensalmente com novos valores captados pela empresa. Assim, os resultados seriam sempre atualizados com novos dados.

Uma desvantagem é que não se pode utilizar a Simulação Monte Carlo como única ferramenta de tomada de decisão. Existem diversos fatores externos, principalmente se tratando do meio ambiente e sustentabilidade, em que ano pós ano vem mudando a

conscientização da população. Além de que novas ferramentas são sempre apresentadas às indústrias para que seja minimizado o impacto ambiental delas.

Outra desvantagem é que como se trata de uma empresa multinacional, diversos pontos da companhia (principalmente os relacionados a meio ambiente) são discutidos em âmbito global. Portanto, qualquer tomada de decisão em relação ao assunto apresentado neste trabalho que os gestores gostariam de tomar, deverá ser elevado o nível a representantes globais da companhia (especialistas do assunto) e ser aprovados por eles.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Como sugestão para continuidade de estudos, identifica-se a oportunidade de trabalhar com outros indicadores de meio ambiente da mesma empresa para observar se existe um comportamento similar em relação às metas da empresa. Ademais, poderia ser estudado KPIs de outras áreas da fábrica (que não englobe a área de meio ambiente) para analisar os mesmo pontos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. Discrete-event System Simulation. 5 th. ed., New Jersey: Prentice-Hall, 2009.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 22, n. 2, p. 241-264, 2002

BISOGNO S.; CALABRESE A.; GASTALDI M.; GHIRON N. Combining modelling and simulation approaches: How to measure performance of business processes. **Business Process Management Journal**. Vol. 22 Issue: 1, pp.56-74, 2016.

COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT (CSD). **Comissão de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/intergovernmental/csd>> Acesso em: 14 mai. 2018.

CRYSTAL BALL. **Software de simulação**. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/>> Acesso em: 18 jun. 2018.

DENG, L. Y.; BOWMAN, D. Developments in Pseudo-Random Numbers Generators. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 9, 2017.

DIALLO S.; DURAK U.; MUSTAFEE N.; Mittal S. Special issue on modeling and simulation in the era of big data and cloud computing: theory, framework and tools. **Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International**. Vol. 93 (4), pp 271–272, 2017.

FALCONI, V. O Verdadeiro Poder. 2013

HAO, H.; ZHANG, K.; DING, S. et al. A data-driven multiplicative fault diagnosis approach for automation processes. **ISA Transactions**. Vol. 53, pp. 1436–1445, 14 Jan 2014.

ICHEME. **Engenharia Química Avançada no mundo**. Disponível em: <<https://www.icheme.org/>> Acesso em: 14 mai. 2018.

JOUNG, C.; CARRELL, J.; SARKAR P.; FENG, S. Categorization of indicators for sustainable manufacturing. **Ecological Indicators**. Vol. 24. pp 148-157, 30 Mai 2012.

KANELLOPOULOS, A., GERDESSEN, J. C., CLAASSEN, G. D. H. Compromise Programing: Non-Iterative Calibration of Utility-Based Metrics. **European Journal of Operational Research**, v. 244, p. 519-524, 2015.

KROESE, D. P.; TAIMRE, T.; BOTEV, Z. I. Handbook of Monte Carlo Methods. **John Wiley & Sons, New York**, 2017.

LABUSCHAGNEA C.; BRENT A.; Erck R. Assessing the sustainability performances of industries. **Journal of Cleaner Production**. Vol 13, pp 373-385, 23 Out 2003.

LEE L.; CHEW E.; FRAZIER P.; JIA Q.; CHEN C. Advances in simulation optimization and its applications. **IIE Transactions**, 45:7, pp 683-684, 10 Abr 2013.

LIN, B.; XIE, X. CO2 emissions of China's food industry: an input - output approach. **Journal of Cleaner Production**. Vol 112, pp 1410-1421, 4 Jul 2015.

MARZOUK. M.; AZAB. S.; METAWIE.M. BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings. **Journal of Cleaner Production**. Vol 188, pp217-226, 28 Mar 2018.

MALTBA, T.; GREMAUD, P. A.; TARTAKOVSKY, D. M. Nonlocal PDF Methods for Langevin Equations Colored. **Journal of Computational Physics**, v. 367, p. 87-101, 2018.

MESOGISTS, T. S., SKORDOS, A. A., LONG, A. C. Uncertainty in the Manufacturing of Fibrous Thermosetting Composites: A Review. **Composites: Part A**, v. 57, p. 67-75, 2014.

MIGUEL P., Metodologia de pesquisa em engenharia da produção e gestão de operações. pp. 129-144., 2010.

MIRANDA R.; MONTEVECHI J.; SILVA A.; MARINS F. Increasing the efficiency in integer simulation optimization: Reducing the search space through data envelopment analysis and orthogonal arrays. **European Journal of Operational Research**. Vol. 262, pp 673-681, 11 Abr 2017.

MURIANA, C.; PIAZZAA T.; VIZZINI, G. N. A expert system for financial performance assessment of health care structures based on fuzzy sets and KPIs. **Knowledge-Based Systems**, 97, 1-10, 29 Jan 2016.

ROBINSON, S. (2014), *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, John Wiley & Sons.

RUBINSTEIN, R.; KROESE, D. *Simulation and the Monte Carlo Method*, ed 3, Nov 2016.
SINGH, R.; MURTY H.; GUPTA S.; DIKSHIT A. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, 9, pp 189-212, 21 Mai 2008.

SCOPUS. **Busca de artigos científicos**. Disponível em: <<https://www.scopus.com/>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

TEE, K. F. et al. Identifying Critical Performance Indicators and Suitable Partners Using a Benchmarking Template. **International Journal of Productivity and Performance Management**. v. 64, n. 3, p.434-450, 05 Nov 2014.

VALLEJO C.; ROMERO D.; MOLINA A. Enterprise integration engineering reference framework and toolbox. **International Journal of Production Research**, 50:6, pp 1489-1511, 2012.

VARSEI M.; Soosay C.; Fahimnia B.; Sarkis J. Framing sustainability performance of supply chains with multidimensional indicators. *Supply Chain Management: An International Journal*. Vol. 19 Issue: 3, pp. 242-257, 2014.

VELEVA V.; ELLENBECKER M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**. Vol 9, pp 519-549, 31 Jan 2001.

WEB OF SCIENCE. **Software de simulação**. Disponível em: <<https://login.webofknowledge.com/>> Acesso em: 18 jun. 2018.

APÊNDICE A - Dados de meio ambiente de 90 meses

	Tonelagem	Eletricidade	Gás Natural	Emissão de CO2
	[ton]	[Kwh]	[m³]	[ton]
Mês 1	26.477	6.145.983	1.222.914	2.866
Mês 2	25.176	5.230.004	1.100.409	2.553
Mês 3	33.548	6.474.176	1.622.384	3.660
Mês 4	30.627	6.143.348	1.343.191	3.096
Mês 5	32.376	6.098.711	1.235.043	2.885
Mês 6	36.544	6.443.481	1.314.086	3.066
Mês 7	32.715	6.015.186	1.083.411	2.587
Mês 8	33.815	6.171.331	1.361.902	3.135
Mês 9	29.758	5.743.501	1.372.948	3.120
Mês 10	29.654	5.877.637	1.277.629	2.948
Mês 11	32.454	6.036.482	1.270.218	2.947
Mês 12	24.139	4.917.044	1.047.655	2.597
Mês 13	33.815	6.461.782	1.325.798	3.090
Mês 14	31.604	6.223.692	1.163.248	2.758
Mês 15	33.917	6.853.495	1.199.425	2.880
Mês 16	33.256	6.793.735	1.319.622	3.106
Mês 17	29.374	6.120.836	1.241.488	2.899
Mês 18	31.534	6.334.174	1.357.711	3.140
Mês 19	34.348	6.482.915	1.511.048	3.447
Mês 20	32.130	6.234.517	1.366.193	3.148
Mês 21	30.947	6.072.677	1.184.477	2.786
Mês 22	32.600	6.194.268	1.250.696	2.923
Mês 23	31.876	6.293.903	1.194.693	2.824
Mês 24	21.332	4.797.926	1.287.097	2.875
Mês 25	32.552	6.345.049	1.319.609	3.040
Mês 26	33.951	6.511.839	1.176.524	2.785
Mês 27	39.716	7.037.192	1.066.998	2.624
Mês 28	36.516	6.670.435	1.461.958	3.337
Mês 29	37.210	6.689.031	1.412.655	3.246
Mês 30	33.465	6.434.145	1.393.415	3.187
Mês 31	37.254	6.831.154	1.517.019	3.455
Mês 32	27.640	5.654.160	1.464.455	3.254
Mês 33	31.890	6.291.645	1.353.867	3.100
Mês 34	31.182	6.300.894	1.364.040	3.120
Mês 35	34.426	6.687.341	1.313.138	3.058
Mês 36	26.410	5.261.984	1.073.128	2.481

Mês 37	33.748	6.844.268	1.260.185	2.972
Mês 38	35.643	6.745.638	1.261.296	2.965
Mês 39	36.595	7.122.380	1.330.339	3.128
Mês 40	34.500	6.784.949	1.348.576	3.133
Mês 41	33.663	6.535.351	1.207.403	2.845
Mês 42	28.348	5.966.697	1.197.727	2.778
Mês 43	28.186	6.126.882	1.273.563	2.935
Mês 44	27.977	5.924.847	1.298.236	2.964
Mês 45	32.741	6.549.051	1.540.206	3.474
Mês 46	37.197	7.191.464	1.649.961	3.737
Mês 47	33.588	7.049.239	1.530.294	3.499
Mês 48	28.568	5.941.706	1.028.059	2.455
Mês 49	29.844	6.368.534	1.266.876	2.985
Mês 50	24.461	5.469.716	970.143	2.337
Mês 51	27.322	7.010.755	1.211.523	2.934
Mês 52	28.892	6.449.625	1.189.488	2.843
Mês 53	32.062	6.487.938	1.153.684	2.778
Mês 54	36.484	6.967.026	1.165.645	2.843
Mês 55	28.893	6.097.250	1.069.314	2.582
Mês 56	26.541	5.483.234	822.987	2.056
Mês 57	23.007	5.560.412	946.906	2.301
Mês 58	24.469	5.716.654	1.033.262	2.480
Mês 59	39.336	6.662.579	1.213.741	2.908
Mês 60	21.441	4.342.370	873.990	2.055
Mês 61	25.536	5.447.935	1.050.523	2.490
Mês 62	33.712	6.131.729	1.153.787	2.747
Mês 63	27.958	6.007.777	1.082.978	2.601
Mês 64	25.820	5.631.828	802.513	2.029
Mês 65	28.053	6.862.029	1.155.381	2.814
Mês 66	29.768	7.176.208	1.258.064	3.038
Mês 67	23.162	5.389.412	795.330	1.995
Mês 68	23.279	5.647.141	990.004	2.391
Mês 69	27.729	5.944.620	958.553	2.356
Mês 70	29.357	6.306.373	1.154.693	2.764
Mês 71	31.998	6.288.647	1.181.234	2.814
Mês 72	20.870	4.533.022	727.127	1.789
Mês 73	25.570	6.170.033	1.083.031	2.615
Mês 74	27.483	6.352.640	1.089.726	2.643
Mês 75	26.531	6.385.093	1.078.615	2.625
Mês 76	24.686	5.595.009	746.898	1.919
Mês 77	30.010	6.107.867	1.109.447	2.660
Mês 78	32.541	6.531.472	1.308.970	3.080
Mês 79	29.002	6.239.536	1.059.318	2.575

Mês 80	33.213	6.327.605	1.210.740	2.874
Mês 81	31.651	6.138.447	978.888	2.412
Mês 82	31.931	6.590.972	1.066.049	2.619
Mês 83	33.122	6.689.899	1.246.199	2.973
Mês 84	22.960	4.711.950	673.076	1.701
Mês 85	25.348	6.062.934	1.090.417	2.620
Mês 86	30.820	6.095.555	1.003.201	2.455
Mês 87	36.086	7.300.486	1.224.332	2.984
Mês 88	27.858	5.727.260	880.658	2.188
Mês 89	25.831	5.707.191	957.723	2.334
Mês 90	30.697	6.305.064	845.853	2.171