

**Simulação do processo de produção de uma indústria de água mineral pelo método
*system dynamics***

**Simulation of the production process of a mineral water industry by *system dynamics*
method**

**Simulación del proceso de producción de una industria de agua mineral mediante el
método de dinámica del sistema**

Recebido: 20/05/2020 | Revisado: 01/06/2020 | Aceito: 05/06/2020 | Publicado: 16/06/2020

Giselle de Lima Paixão e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9838-5663>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: xpaixao@hotmail.com

Robson Maia Geraldine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2758-722X>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: robson.agro.ufg@gmail.com

Reginaldo Figueiredo Santana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1278-5063>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: emaildesantana@gmail.com

Juliana Aparecida Correia Bento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9015-9426>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: julianaap.ufg@gmail.com

Menandes Alves de Souza Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5560-6884>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: menandesneto@gmail.com

Márcio Caliari

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0877-8250>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: macaliari@ufg.br

Resumo

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de implementar um modelo computacional para simular as etapas de produção de uma indústria de água mineral por meio do software Stella 8.0. O modelo definido como dinâmico, estocástico e discreto constituiu-se de onze blocos interligados, e foi construído seguindo as etapas de caracterização do sistema real; criação do modelo conceitual; estruturação e verificação do modelo computacional; obtenção de dados; e validação do modelo. Partindo dos dados coletados no sistema real obtiveram-se os ajustes das distribuições utilizadas na montagem e verificação do modelo. A validação do programa foi efetuada através da comparação dos dados do sistema real com os dados simulados. Os valores coletados no sistema real apresentaram-se dentro dos limites superior e inferior no gráfico obtido pela análise de regressão, com nível de confiança de 95%, garantindo que o modelo computacional representasse de forma adequada o sistema real. Contudo, o modelo computacional desenvolvido foi aplicável para simular a dinâmica operacional de linhas processadoras de Água Mineral, por ser uma ferramenta de controle da produção, que permite a visualização do comportamento do sistema real, facilita a identificação de erros, melhora o fluxo produtivo e reduz custos industriais por controlar o tempo total de processamento.

Palavras-chave: Água mineral; Simulação; Modelo computacional; Sistema; Indústria.

Abstract

This research was conducted with the objective of implementing a computer model to simulate the steps that comprise the operational flowchart of a mineral water industry, using the software Stella 8.0. The model defined as dynamic, stochastic and discrete consisted of eleven interconnected blocks. It was built following the steps of characterizing the real system, creating the conceptual model, structuring and verification of computational model, data collection, and model validation. From data collected in the real system we obtained fits of the distributions used in assembling and verifying the model. Validation of the program was conducted by comparing the data of the real system with simulated data. The values collected in the real system were within the upper and lower limits on the graph obtained by regression analysis, with a confidence level of 95%, ensuring that the computer model adequately represents the real system. However, the computational model developed is applicable to simulate the dynamics of processing lines of Mineral Water, being a tool of production control, which allows the visualization of the behavior of the real system, facilitates the identification of errors, improve production flow, and reduces manufacturing

costs by controlling the total processing time.

Keywords: Mineral water; Simulation; Computational model; System; Industry.

Resumen

Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de implementar un modelo computacional para simular los pasos de producción de una industria de agua mineral, utilizando el software Stella 8.0. El modelo definido como dinámico, estocástico y discreto constaba de once bloques interconectados, y se construyó siguiendo los pasos de caracterización del sistema real; creación del modelo conceptual; estructuración y verificación del modelo computacional; obtención de datos; y validación del modelo. A partir de los datos recopilados en el sistema real, se realizaron ajustes a las distribuciones utilizadas en el ensamblaje y verificación del modelo. La validación del programa se realizó comparando los datos del sistema real con los datos simulados. Los valores recopilados en el sistema real estaban dentro de los límites superior e inferior en el gráfico obtenido por el análisis de regresión, con un nivel de confianza del 95%, asegurando que el modelo computacional representaba adecuadamente el sistema real. Sin embargo, el modelo computacional desarrollado fue aplicable para simular la dinámica operativa de las líneas de procesamiento de Agua Mineral, ya que es una herramienta de control de producción, que permite visualizar el comportamiento del sistema real, facilita la identificación de errores, mejora el flujo productivo y reduce los costos industriales al controlar el tiempo total de procesamiento.

Palabras clave: Agua mineral; Simulación; Modelo computacional; Sistema; Indústria.

1. Introdução

A água mineral é caracterizada por sua pureza na fonte, seu conteúdo em minerais, oligoelementos e outros constituintes, sua conservação e suas propriedades são reconhecidas após testes clínicos e farmacológicos (Petraccia, Liberati, Giuseppe Masciullo, Grassi, & Fraioli, 2006). Considerada um produto nobre, a preocupação com sua a qualidade é grande (Leclerc & Moreau, 2002), e para isto devem ser utilizados processos que visam manter a integridade microbiológica e as características físicas e químicas da água, desde a fonte até o consumo (Oßmann et al., 2018; Penido et al., 2018; Sala-Comorera, Blanch, Casanovas-Massana, Monleón-Getino, & García-Aljaro, 2019).

O processamento de água mineral pode ser caracterizado de um “sistema” composto

de várias etapas sequenciais que permitem a obtenção de um produto seguro e economicamente viável. Segundo Von Bertalanffy (1973) “Sistema” é um conjunto de partes integrantes e interdependentes que, conjuntamente, forma um todo unitário com determinado objetivo e efetua determinada função; e modelo é a descrição de um sistema que explica o seu funcionamento”. Assim sendo, as tomadas de decisão representam um grande desafio para os gestores industriais, que pode ser amenizado com o auxílio da simulação computacional, aliada a ferramentas estatísticas e de gerenciamento (Franco, Hirama, & Carvalho, 2018).

A simulação computacional está presente na otimização de sistemas de produção de várias áreas por ser uma ferramenta importante que permite confrontar a teoria, baseada em conceitos e modelos matemáticos com a parte experimental. É um processo de experimentação que utiliza um modelo suficientemente detalhado de um sistema para determinar como este responderá às mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (Ferreira, Batalha, & Domingos, 2016).

Neste contexto, a utilização de uma ferramenta de simulação de processos integrada à rotina de planejamento de produção pode gerar um diferencial para a empresa, que irá dispor de maior precisão no seu sequenciamento de produção e eficiência operacional. Uma simulação é uma simplificação da realidade, pois não possui todas as variáveis componentes da realidade. Assim sendo, não se espera que um modelo simulado desenvolva todas as características do sistema real, mas sim, reproduza as características fundamentais para apoio a uma decisão sobre determinado objeto (Serman, 2010).

Segundo Zambon (2006) e Franco et al. (2018) a implementação de um simulador propicia: projetar e analisar o sistema industrial; prever resultados na execução de uma determinada ação; reduzir os riscos na tomada de decisão; identificar problemas antes de suas ocorrências; eliminar procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor à produção; reduzir custos com o emprego de recursos e revelar a integridade e a viabilidade de um determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

Alguns sistemas podem ser dinâmicos. O System Dynamics é uma metodologia utilizada para nos ajudar a entender como evolui no tempo o comportamento de um sistema complexo, que pode ser definido como um conjunto de elementos que interagem continuamente ao longo do tempo, formando uma estrutura unificada, através de feedback de informação (Adane & Nicolescu, 2014; Fetene Adane, Bianchi, Archenti, & Nicolescu, 2019; Oyarbide, Baines, Kay, & Ladbrook, 2003). A análise baseada em dinâmica de sistemas pode ser muito útil no planejamento da produção de sistemas agroalimentares (Ferreira et al., 2016)

Desta forma, caracterizado como um sistema dinâmico, o presente trabalho foi

conduzido com o objetivo de implementar um modelo computacional para simular as etapas que integram o fluxograma operacional de uma indústria de água mineral, através do software Stella 8.0. Por meio da análise de sensibilidade do sistema modelado, objetivou-se verificar a influência da alteração da variável de entrada (quantidade de garrafas a serem envasadas) sobre a variável de saída (tempo de processamento), podendo deste modo, identificar falhas na produção e propor melhorias.

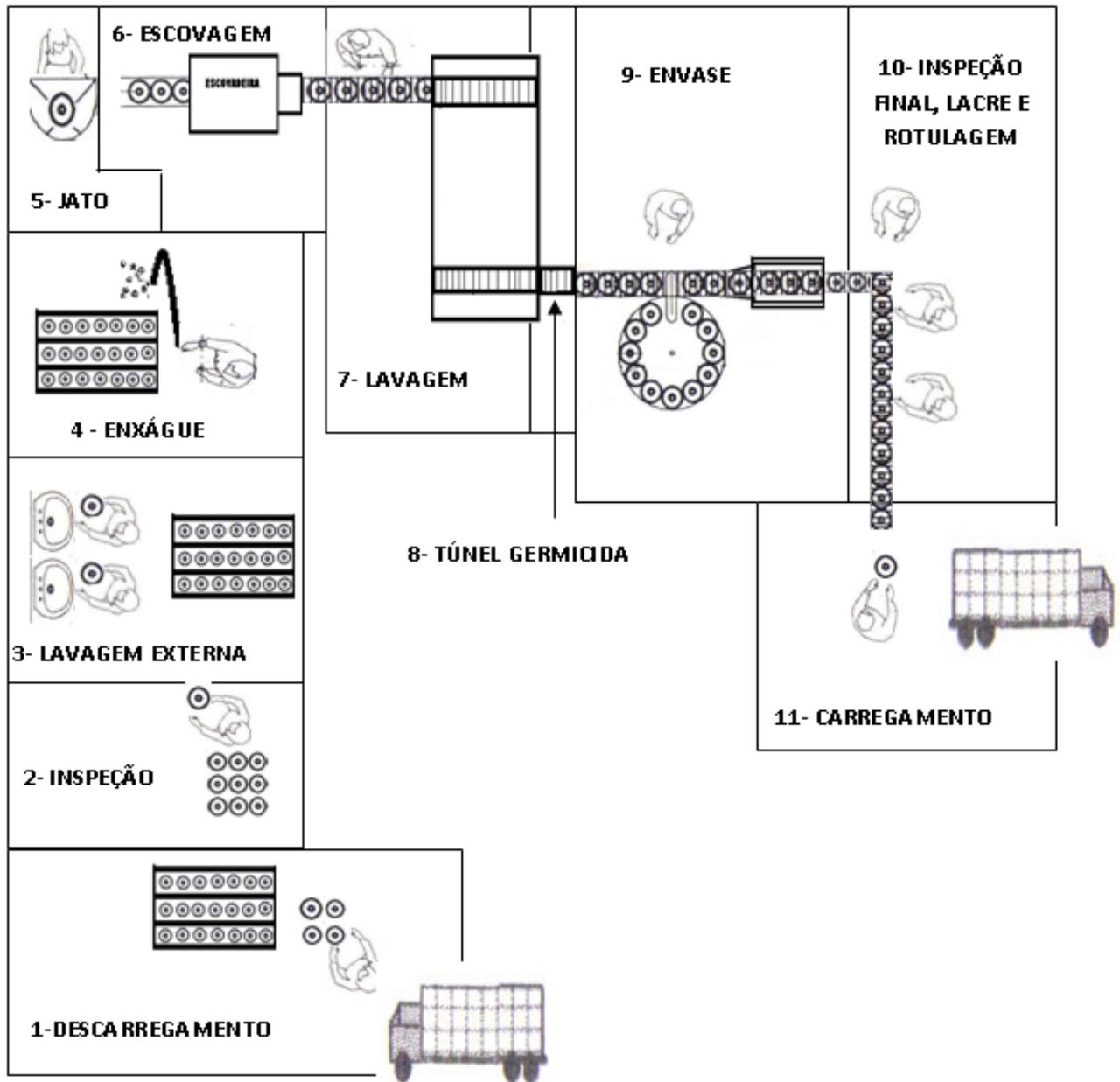
2. Metodologia

A metodologia usada neste artigo foi experimental, explicativa e quantitativa (Pereira, Shitsuka, Parreira, & Shitsuka, 2018); sendo o modelo computacional estruturado para simular a dinâmica operacional de uma indústria de água mineral, localizada no sudoeste de Goiás. O modelo definido como dinâmico, estocástico e discreto foi construído utilizando o software Stella 8.0.

O modelo foi implementado seguindo as etapas de caracterização do sistema real; criação do modelo conceitual; estruturação e verificação do modelo computacional; obtenção de dados; validação do modelo, execução da análise de sensibilidade; e verificação da influência da alteração de valor da variável de entrada (quantidade de garrafas) sobre a variação da variável de saída (tempo total de processamento).

A indústria de processamento de água mineral modelada tinha uma produção mensal aproximada de 20.000 garrafas retornáveis de 20 L. Na linha de produção, a empresa contava com 10 colaboradores, que trabalhavam em um único turno. O sistema em questão sofreu variações dependentes do estado dos garrafas retornáveis que chegavam à indústria para serem envasadas, sendo que a variável de saída “tempo”, dependia do grau de sujidade dos garrafas recebidos. A Figura 1 apresenta o modelo conceitual do projeto, em que foram consideradas as etapas/blocos: 1- descarregamento, 2- inspeção inicial, 3-lavagem externa, 4-enxágüe, 5- jato, 6- escovagem, 7- lavagem automática, 8- túnel germicida, 9- envase, 10- inspeção final, lacre e rotulagem,11-carregamento. Foram definidos como parâmetros principais a quantidade de garrafas a serem envasadas e o tempo total de produção.

Figura 1- Modelo conceitual/ fluxograma da indústria de água mineral modelada

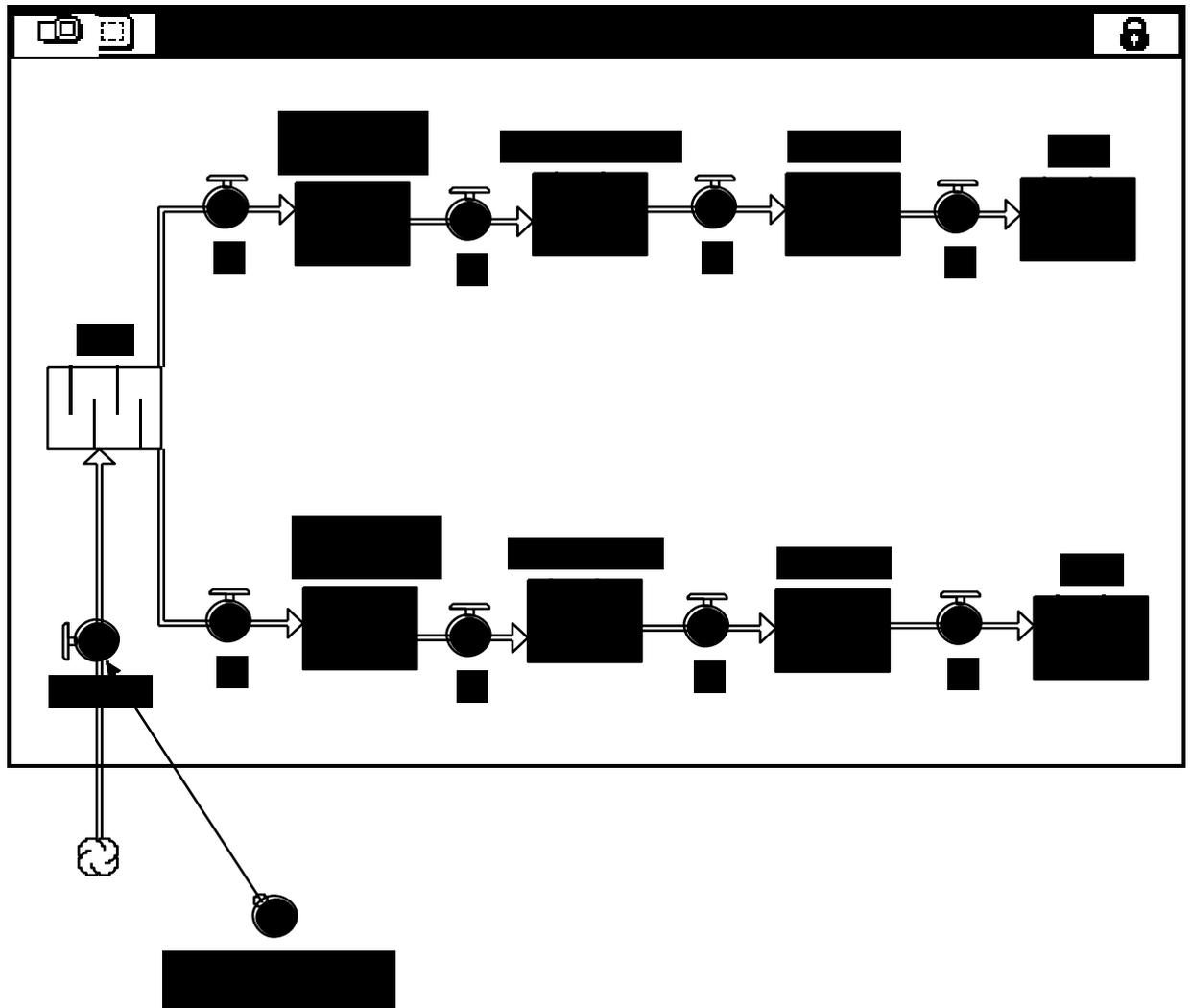


Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Bloco 1: Descarregamento

O Bloco 1 simulou a operação de recepção dos caminhões (Figura 2) que chegavam à indústria com os garrafões retornáveis vazios, dois funcionários descarregavam quatro galões por vez e os colocavam em um carrinho transportador de capacidade de 128 galões, sendo este carrinho transportado para a etapa seguinte.

Figura 2: Representação da etapa de Descarregamento no software Stella.



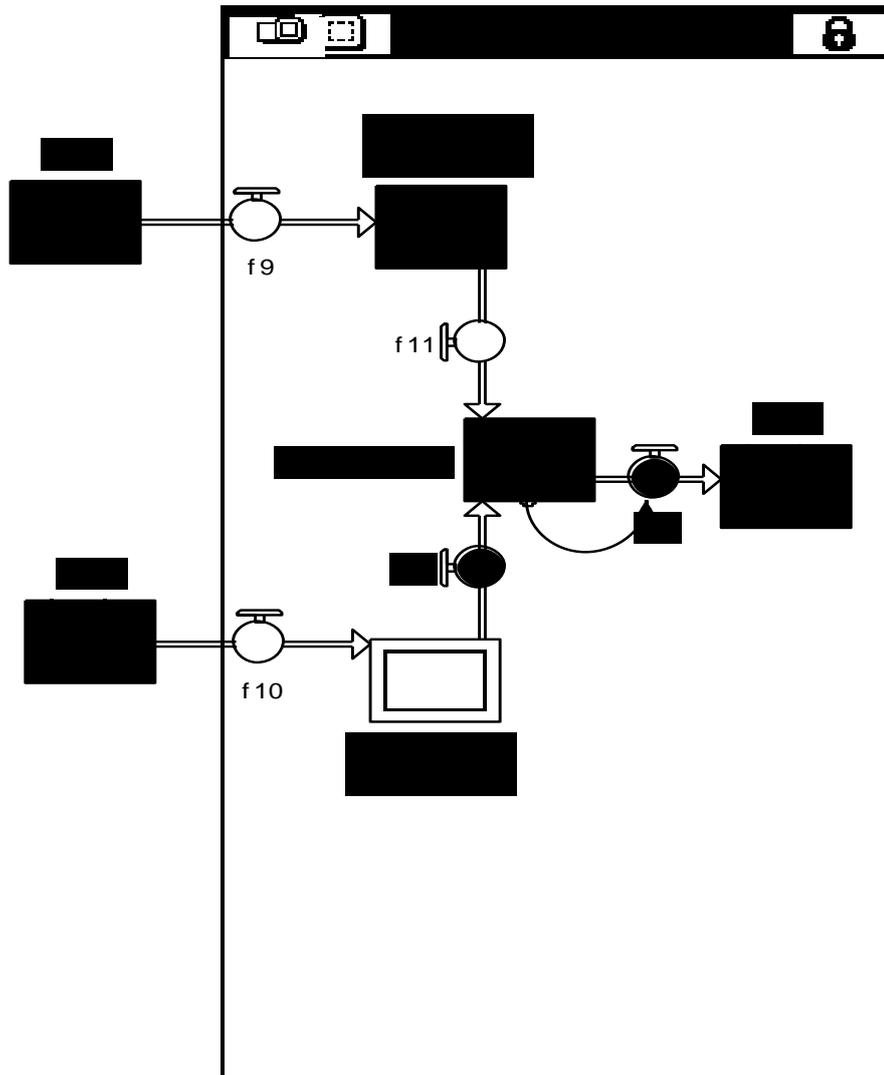
Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

O simulador para desenvolver esta etapa necessitou das seguintes informações: Quantidade de galões que chegavam à plataforma de recepção; Quantidade de funcionários que trabalhavam na etapa; e Distribuição estatística do tempo de descarga e de trânsito dos carrinhos.

Bloco 2: Inspeção inicial

O Bloco 2 simulou a operação de inspeção inicial dos garrafões descarregados (Figura 3). Os garrafões eram inspecionados um a um, geralmente, por dois funcionários, que também retiravam os rótulos, e em seguida os colocavam no chão, em um estoque, para a lavagem externa manual.

Figura 3: Representação da etapa de Inspeção no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Nesta inspeção os garrações que apresentavam características estranhas (cheiro, furo, ressecamento, prazo de validade, e outros) eram rejeitados.

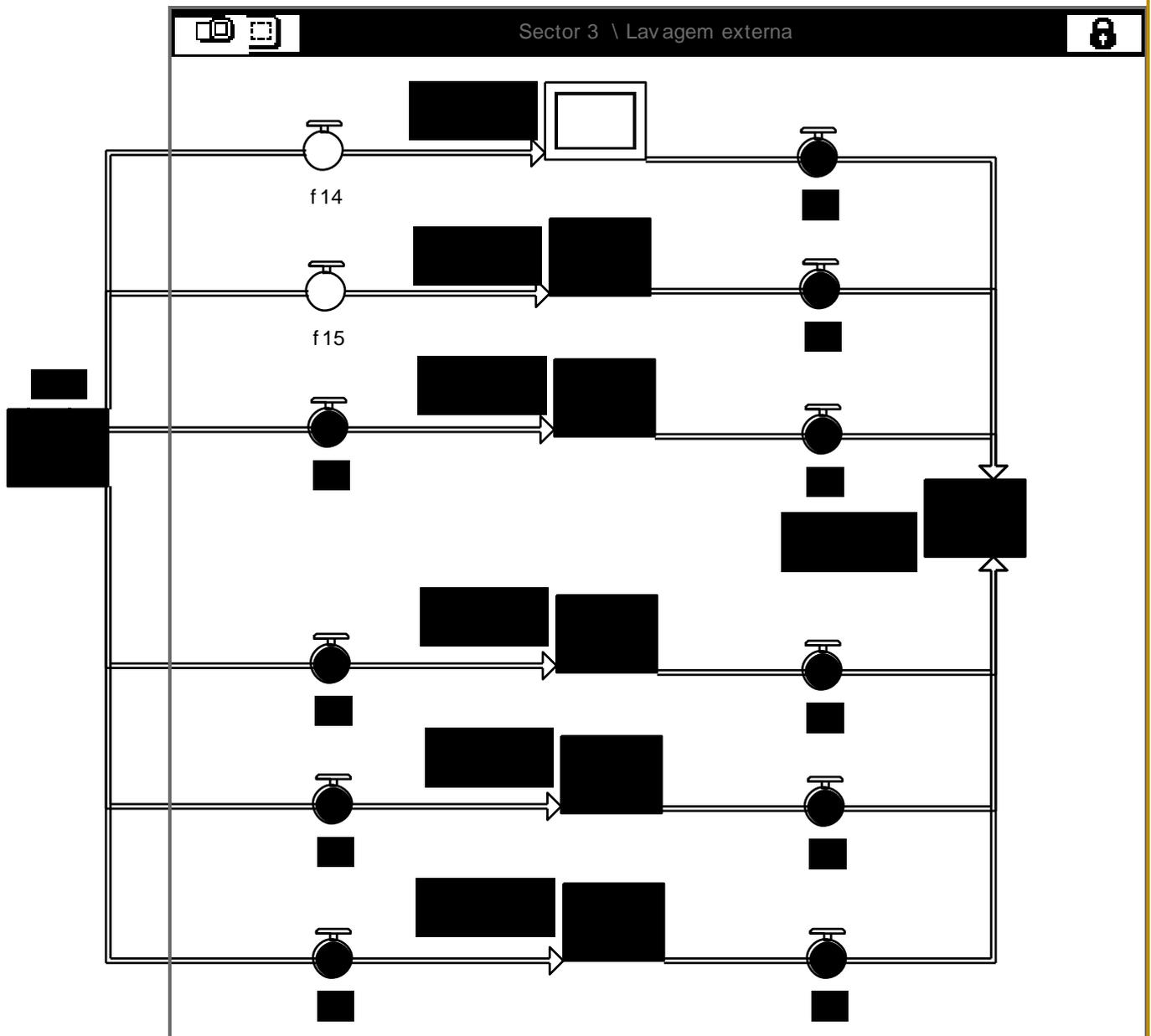
Para desenvolver esta etapa do modelo, o simulador necessitou de: Distribuição estatística do tempo de inspeção; Quantidade de funcionários que trabalhavam na etapa; e Quantidade mínima de galões inspecionados para seguir para a lavagem externa.

Bloco 3: Lavagem externa

O Bloco 3 simulou a operação de lavagem externa manual dos garrações inspecionados (Figura 4), onde eram lavados um a um, por seis funcionários, que os retiravam do estoque de

garraões inspecionados, os lavavam e os depositavam novamente nos carrinhos de transporte para serem enxaguados na próxima etapa.

Figura 4: Representação da etapa de Lavagem externa no software Stella.



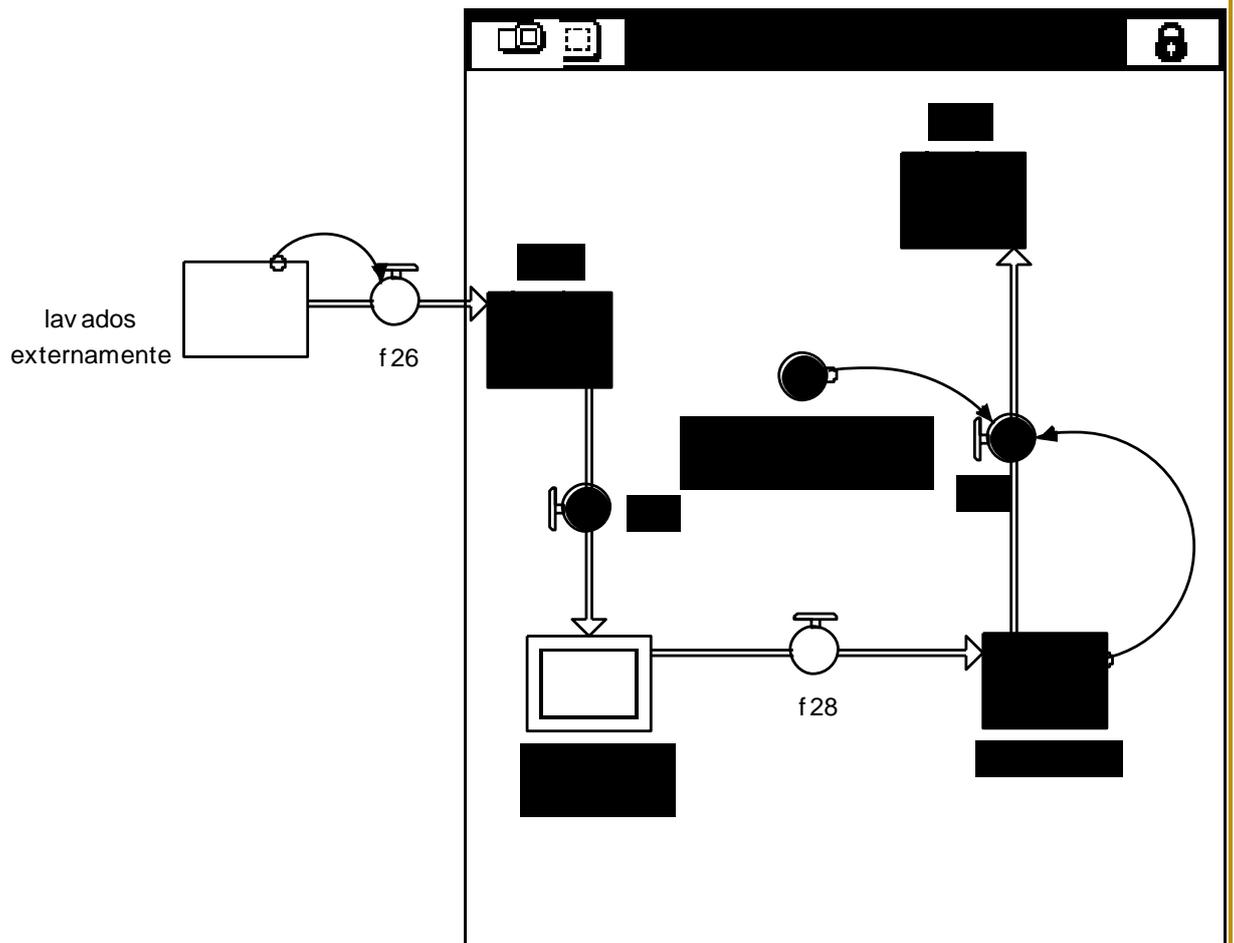
Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Nesta etapa o simulador necessitou das seguintes informações: Distribuição estatística do tempo de lavagem dos garraões; Número de funcionários que trabalhavam na lavagem; e Quantidade galões ensaboados nos carrinhos para iniciar o enxágue.

Bloco 4: Enxágue

O Bloco 4 simulou o enxágue dos garraões ensaboados (Figura 5) que se encontravam nos carrinhos de transporte (lavados externamente).

Figura 5: Representação da etapa de enxágue no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

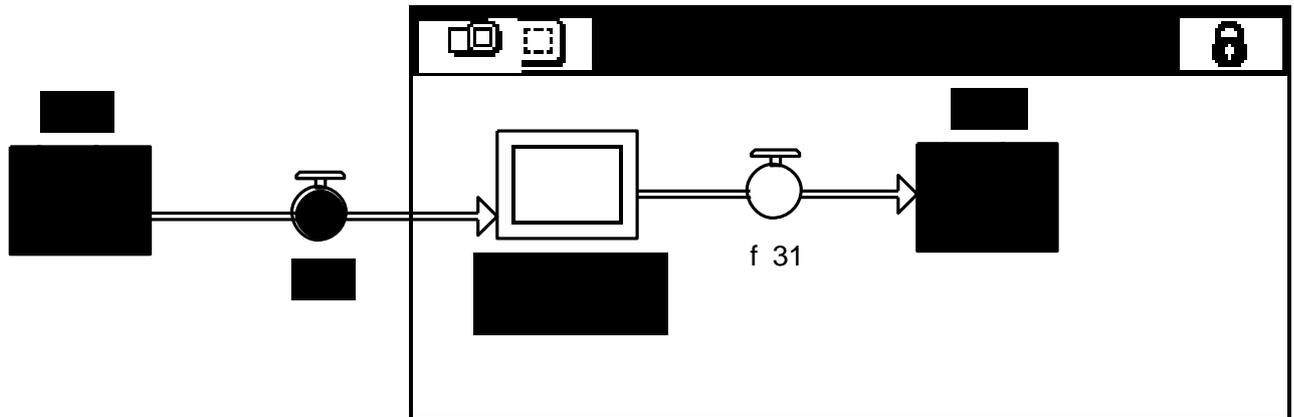
Um funcionário enxaguava 128 galões por vez. A etapa seguinte (jato) só iniciava quando todos os galões estivessem enxaguados.

O simulador para desenvolver esta etapa necessitou da: Distribuição estatística do tempo de enxágue; e Quantidade de funcionários que trabalhavam na etapa;

Bloco 5: Jato

O Bloco 5 simulou a operação de lavagem preliminar interna dos garrafões (Figura 6), que era feita por jato de água de alta pressão.

Figura 6: Representação da etapa de Jato no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

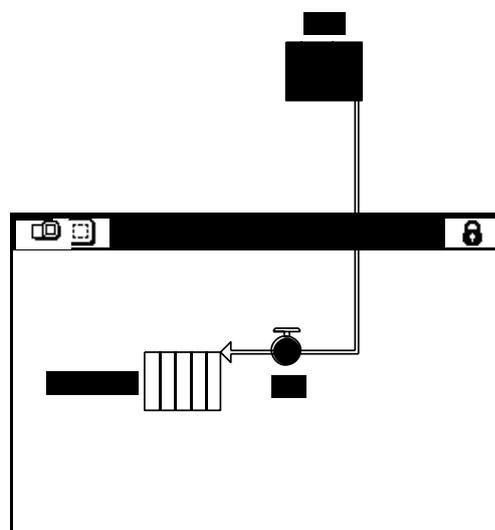
Os galões provenientes do setor de enxágue, que se encontravam nos carrinhos, eram retirados um a um, virados de cabeça para baixo e direcionados ao jato de água que retirava sujidades mais grosseiras. Um funcionário realizava a etapa de jato e em seguida colocava os galões na esteira da escovadeira.

Nesta etapa o simulador necessitou da: Distribuição estatística do tempo de jato; Quantidade de funcionários que trabalhavam na etapa; e Quantidade de galões enxaguados para iniciar a etapa de jato.

Bloco 6: Escovagem

O Bloco 6 simulou a escovagem dos garrafões provenientes do setor de jato (Figura 7).

Figura 7: Representação da etapa de Escovagem no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Os galões eram colocados um a um na esteira da escovadeira, pelo mesmo funcionário que operava o jato, onde os galões passavam por escovas giratórias, para retirada de sujidades externas. Em sequência, os galões seguiam para a esteira da lavadora automática.

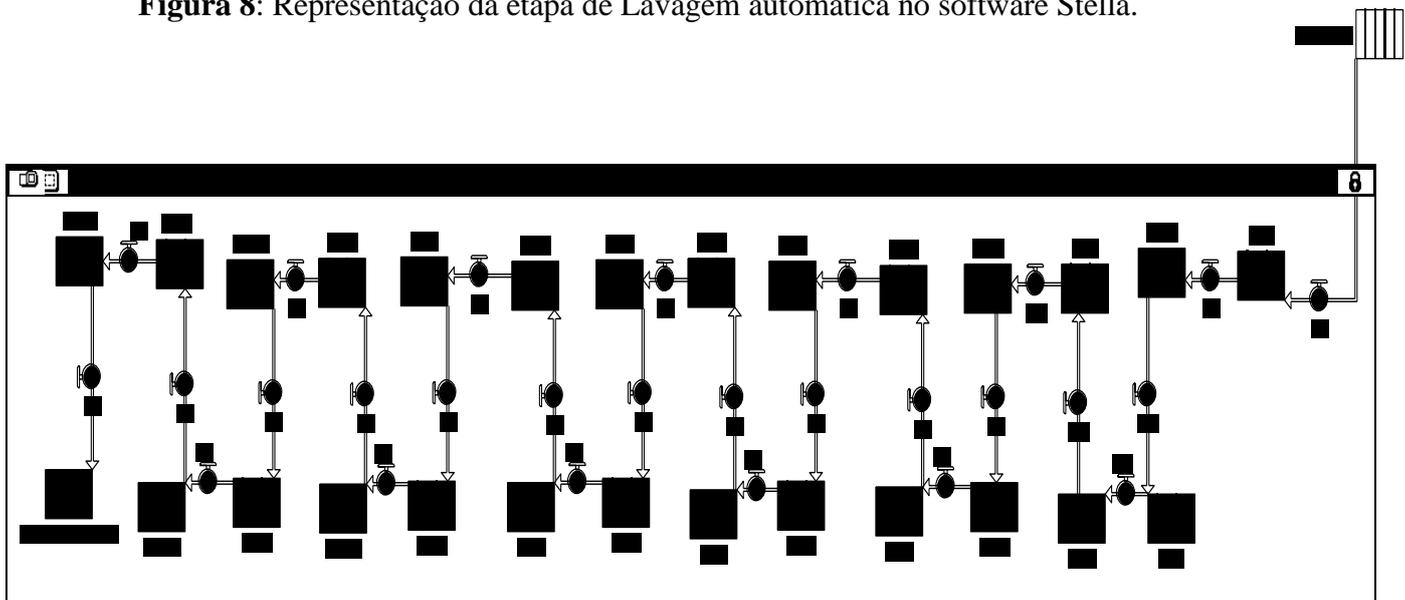
O simulador para desenvolver esta etapa necessitou das informações:

- Velocidade e comprimento das esteiras.

Bloco 7: Lavagem automática

O Bloco 7 simulou a operação de lavagem interna automática dos galões (Figura 8).

Figura 8: Representação da etapa de Lavagem automática no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

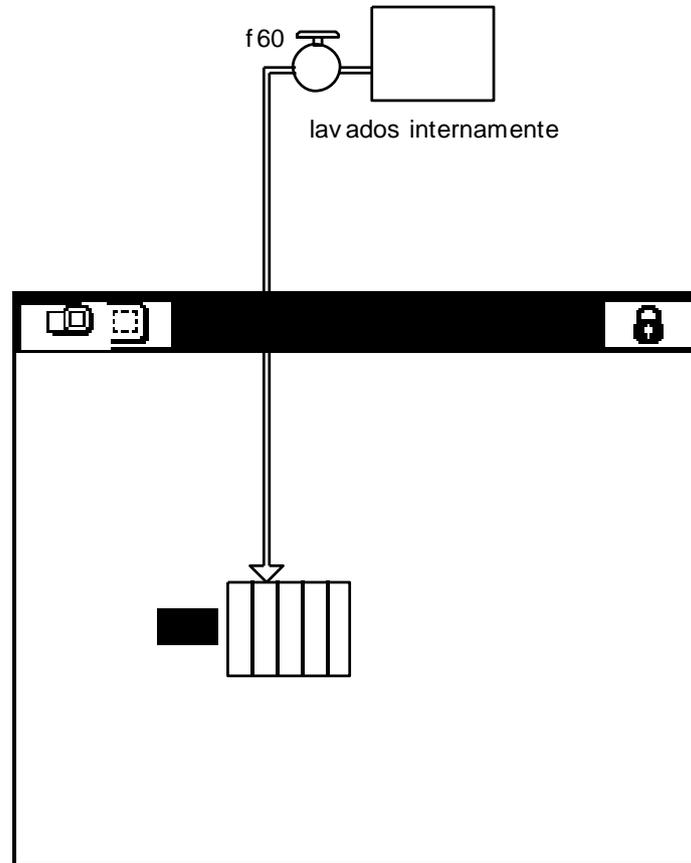
Os galões, provenientes da escovadeira, entravam diretamente na esteira da lavadora automática, que possuía treze etapas de lavagem, sendo divididas em sanitização e enxágue. A esteira possuía na primeira e última etapa uma esteira de depósito para cinco galões, pois as etapas que a compõem trabalhavam com cinco galões por vez. Nesta etapa era necessário um funcionário apenas para operar a máquina e retirar galões enganchados.

Para simular esta etapa foram necessárias as informações: Distribuição estatística do tempo de lavagem de cada etapa; Tempo médio coletado “*in loco*” para juntar cinco galões no depósito da primeira etapa de lavagem; e Capacidade de cada etapa da lavadora automática.

Bloco 8: Túnel germicida

O Bloco 8 simulou a passagem dos galões provenientes da lavadora automática através de um túnel germicida composto com luz ultravioleta e esteira interna que conduzia os garrafões para a sala de envase (Figura 9).

Figura 9: Representação da etapa Túnel germicida no software Stella.



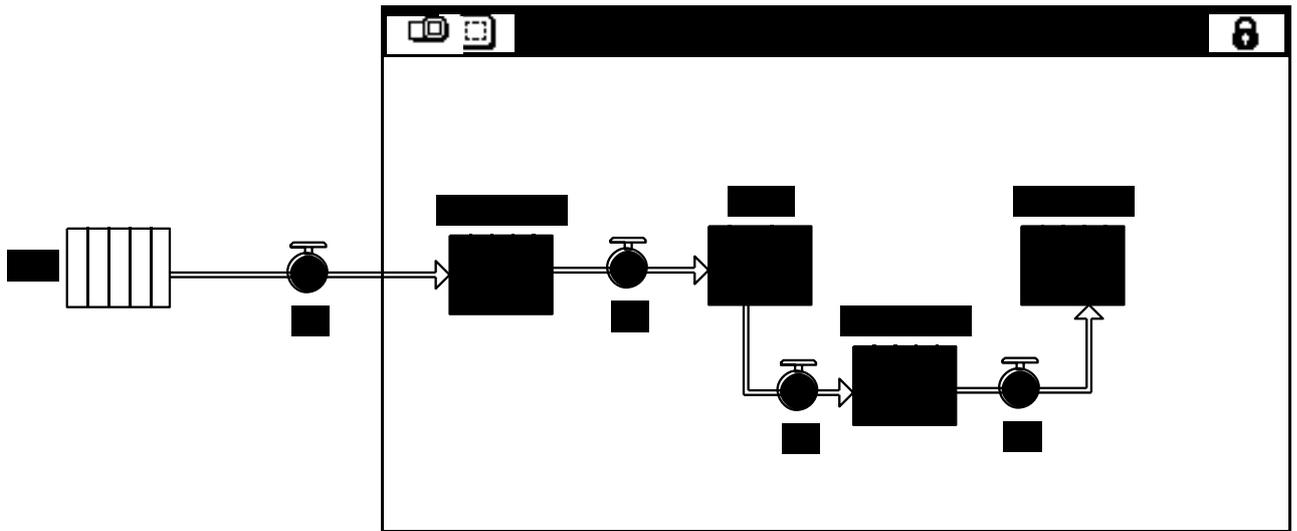
Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Nesta etapa o simulador necessitou das informações: Comprimento da esteira do túnel germicida; e Velocidade da esteira do túnel germicida;

Bloco 9: Envase

O Bloco 9 simulou a operação de envase e tampagem dos galões (Figura 10) provenientes do túnel germicida.

Figura 10: Representação da etapa de envase no software Stella.



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

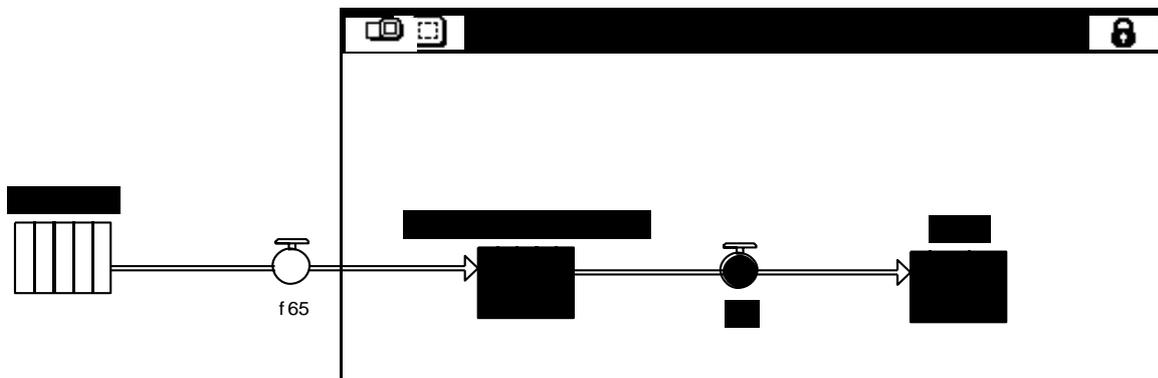
Esta etapa consistia em um processo totalmente hermético, que se processava através de esteiras transportadoras, envasadora e tampador automatizados, com capacidade para 12 galões. Dentro da sala de envase era necessária a presença de um funcionário para operar o equipamento.

Nesta etapa o simulador necessitou das informações: Comprimento das esteiras da sala de envase; Velocidade das esteiras da sala de envase; Distribuição estatística do tempo de envase/ tampagem; Capacidade da envasadora e tampador; e Tempo médio coletado “*in loco*” na esteira final da sala de envase.

Bloco 10: Inspeção final, rotulagem e lacre

O Bloco 10 simulou a operação de inspeção final, lacre e rotulagem (Figura 11).

Figura 11: Representação da etapa de Inspeção final, rotulagem e lacre no software Stella



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

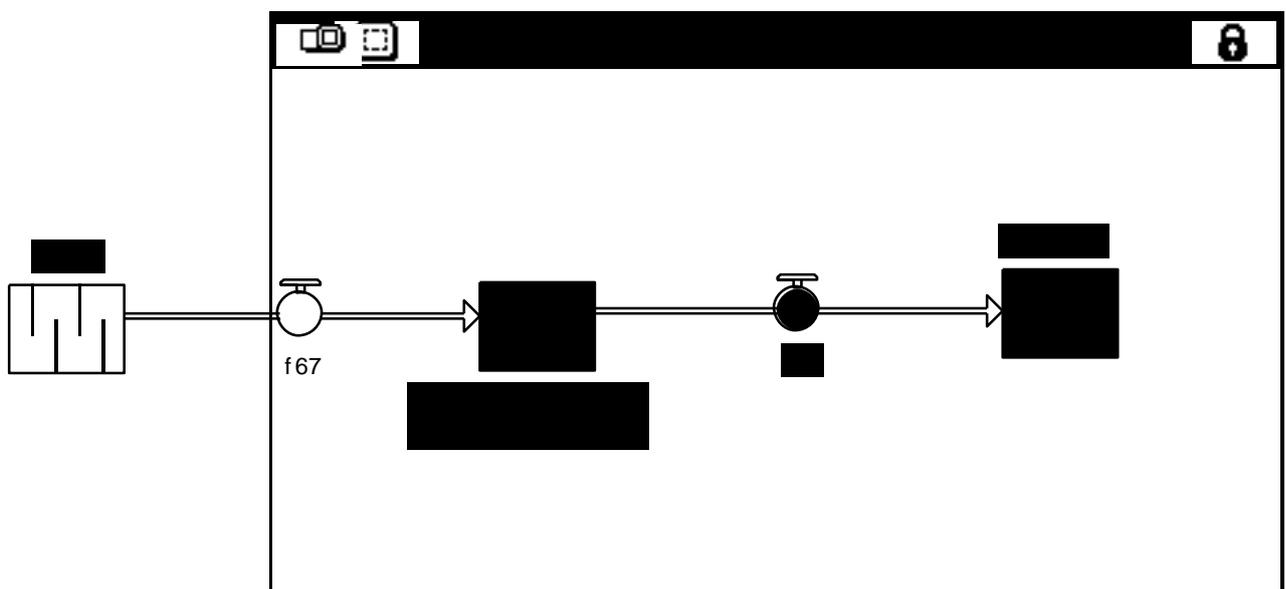
Os galões, após saírem da sala de envase, continuavam em uma esteira transportadora e eram inspecionados, rotulados e lacrados (com o auxílio de um túnel de encolhimento), seguindo para a etapa de carregamento. Nesta etapa, três funcionários faziam respectivamente a inspeção, rotulagem e lacre dos galões que se encontravam em movimento na esteira.

Para o desenvolvimento desta etapa foram necessários: Comprimento da esteira desta etapa; e Velocidade da esteira desta etapa

Bloco 11: Carregamento

O Bloco 11 simulou a etapa final do processamento (Figura 12).

Figura 12: Bloco 11 – Carregamento (retirada do software Stella)



Fonte: Arquivo pessoal – construída baseada no fluxograma da indústria simulada

Os galões, após a saída da etapa anterior, continuavam numa esteira, onde eram coletados um a um e colocados no caminhão para serem transportados. Eram necessários três funcionários para fazer o carregamento.

O simulador para a construção desta etapa necessitou da: Distribuição estatística do tempo de carregamento.

Verificação das etapas, obtenção dos dados e validação do modelo:

Durante a simulação foram obtidos valores de saída, como tempo de cada processo e quantidade de galões trabalhados em cada bloco, tornando possível a verificação de cada etapa, e permitindo certificar que o modelo respondia da forma desejada.

Para a obtenção dos dados necessários à construção do modelo computacional foram coletados os tempos de execução (50 dados) de cada bloco. E em seguida obteve-se as distribuições dos dados utilizadas na montagem do modelo para cada etapa, através do programa @risk 5.5 (palisade).

Outras variáveis usadas como a quantidade de funcionários em cada etapa, comprimento e velocidade de esteiras, capacidade de equipamentos, quantidade de galões para iniciar etapas posteriores, foram obtidos através de vivência prática na indústria analisada.

A validação permitiu a comparação de valores obtidos no modelo com os obtidos no sistema real.

Para a análise de sensibilidade foram realizadas 50 rodadas com o modelo para 15 diferentes quantidades de galões a serem processados, obtendo-se os tempos de processamento total (dados simulados). Além disto, foram coletados 15 dados reais de tempos totais para 15 diferentes quantidades de galões na indústria analisada.

A validação do programa, comparação dos valores coletados (sistema real) e os valores das variáveis geradas pelo modelo, foi realizada com auxílio do programa @risk 5.5 (palisade). Efetuou-se análise de regressão para comparação dos dados simulados com os dados reais, com auxílio do programa Statistica 6.0 (statsoft).

3. Resultados e Discussão

Os parâmetros dos dados reais do sistema e dos dados gerados pelas distribuições ajustadas estão apresentados na Tabela1.

Tabela 1: Parâmetros dos dados reais, obtidos a partir da análise de 50 dados amostrados em cada etapa (bloco) do sistema e dos dados gerados a partir do ajuste da distribuição

Etapas	Parâmetros dos dados reais	Distribuição	Parâmetros dos dados gerados
Descarregamento	Média: 24.21 DP: 9.10	Uniforme (7.39; 38.61)	Média: 24.02 DP: 8.79
Inspeção inicial	Média: 11.9768 DP: 9.1600	Exponencial (9.16) Mínimo: 2.82	Média: 12.160 DP: 11.233
Lavagem externa	Média: 55.98 DP: 44.54	Exponencial (45.90) Mínimo: 10.08	Média: 56.90 DP: 45.90
Enxágue (por galão)	Média: 0.89	Normal (0.86; 0.29)	Média: 0.86

	DP: 0.27		DP: 0.29
Jato	Média: 3.88	Normal (3.80; 0.63)	Média: 3.80
	DP: 0.61		DP: 0.63
Lavagem automática	Média: 12.89	Normal (12.88; 2.54)	Média: 12.88
(por fase)	DP: 2.54		DP: 2.54
Envase	Média: 40.88	Normal (40.90; 2.89)	Média: 40.90
	DP: 2.82		DP: 2.89
Carregamento	Média: 4.08	Normal (3.98; 1.89)	Média: 3.98
	DP: 1.81		DP: 1.89

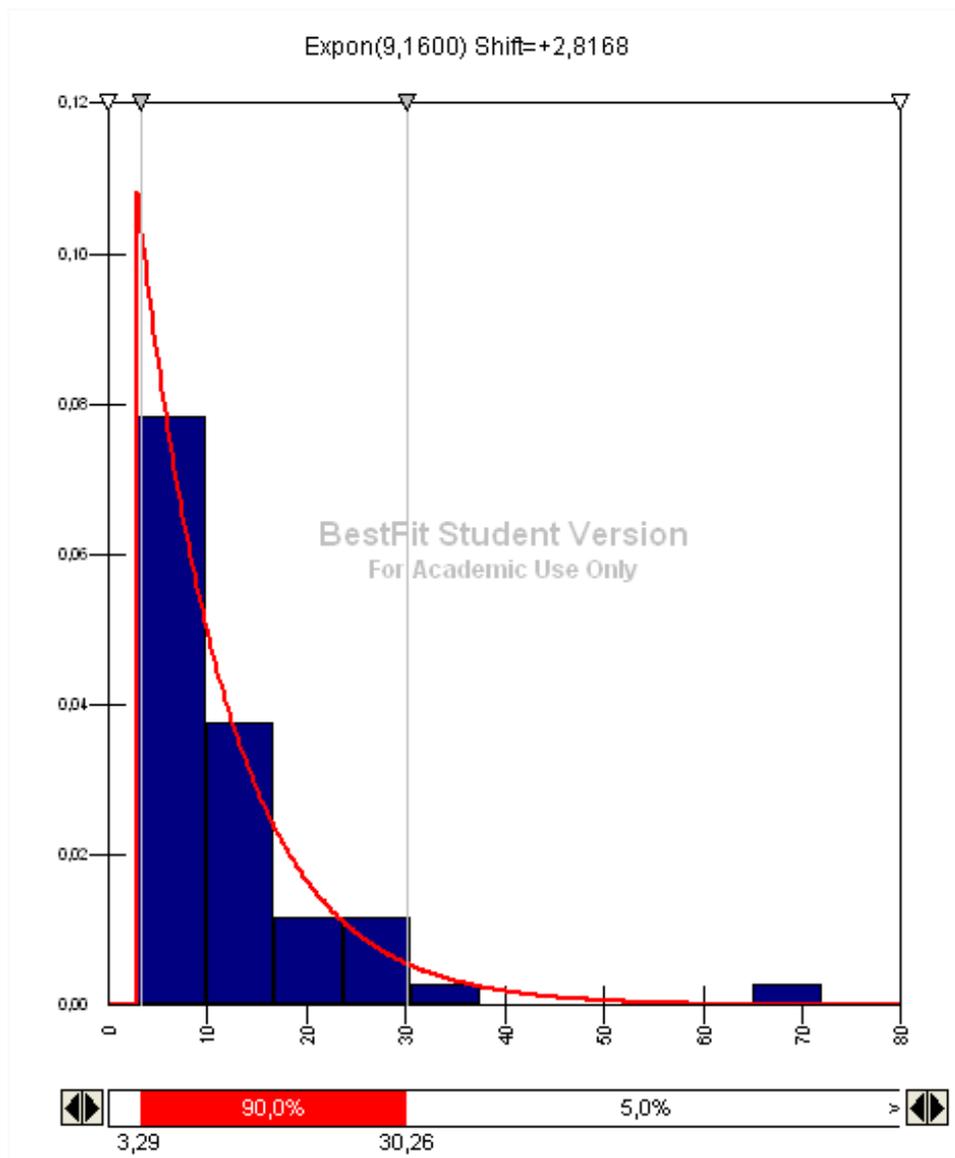
Fonte: Arquivo pessoal

A proximidade dos parâmetros gerados em relação aos reais sugere um adequado ajuste dos dados. As distribuições obtidas além de permitir a construção do modelo, auxiliaram na verificação de cada etapa do modelo.

Para a etapa de descarregamento (início do processo) obteve-se uma Distribuição Uniforme, com tempo mínimo de 7.39s e máximo de 38.61s. Esta atividade, executada manualmente por dois funcionários, tinha seu tempo aumentado uniformemente (mais rápido no início e mais lento no final) na medida em que o caminhão era esvaziado, fato relacionado com o aumento gradativo da distância percorrida pelos funcionários.

As etapas de inspeção inicial e lavagem externa apresentaram Distribuição Exponencial, (tempo médio de 9.16s e 45.90s e tempo mínimo de 2.82s e 10.08s, respectivamente), conforme pode ser visualizado nas Figuras 13 e 14, respectivamente.

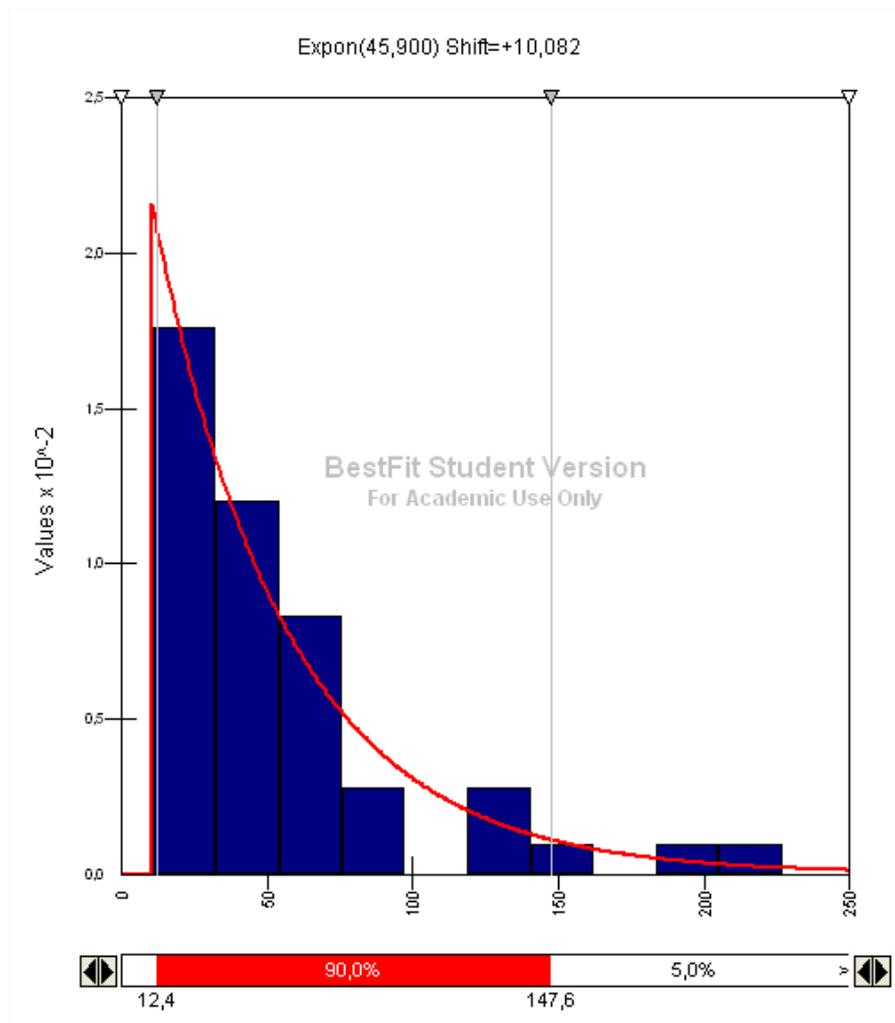
Figura 13: Distribuição dos tempos coletados na etapa de Inspeção Inicial



Fonte: Arquivo pessoal

O comportamento exponencial pode ser explicado pelo fato de os galões apresentarem condições higiênicas bem variáveis, sendo que alguns se encontravam bastante sujos, gastando-se muito tempo na inspeção e na lavagem. Estas atividades eram realizadas rapidamente à medida que os galões apresentavam-se mais limpos (condição apresentada pela maioria dos galões) ou com rótulos de fácil remoção

Figura 14: Distribuição dos tempos coletados na etapa de Lavagem Externa



Fonte: Arquivo pessoal

Neste sentido, estas duas etapas com o comportamento exponencial, sofreram variações que não podiam ser reduzidas pela indústria, visto que para a redução do grau de sujidade dos galões e conseqüentemente, para um menor gasto de tempo para a execução das atividades de inspeção e lavagem externa, deveriam ser feitas campanhas para conscientização dos consumidores finais e dos distribuidores do produto a fim de zelar pela higiene dos garrafões retornáveis, o que economicamente não seria viável.

A etapa de enxágue seguiu uma Distribuição Normal, com média 0.86s e desvio padrão de 0.29s. Apesar de realizado galão por galão, o processo ocorria sobre o carrinho, que podia conter até 128 galões. A rapidez da operação estava relacionada basicamente ao fato da mangueira de enxágue apenas ser posicionada sobre cada galão.

Os dados da etapa Jato foram ajustados a uma Distribuição Normal, com média 3.80s e desvio padrão 0.63s. A operação era um pouco mais lenta que a anterior, já que o

funcionário devia pegar o galão sobre o carrinho, posicioná-lo em direção ao jato de água e, finalmente, colocá-lo sobre a esteira.

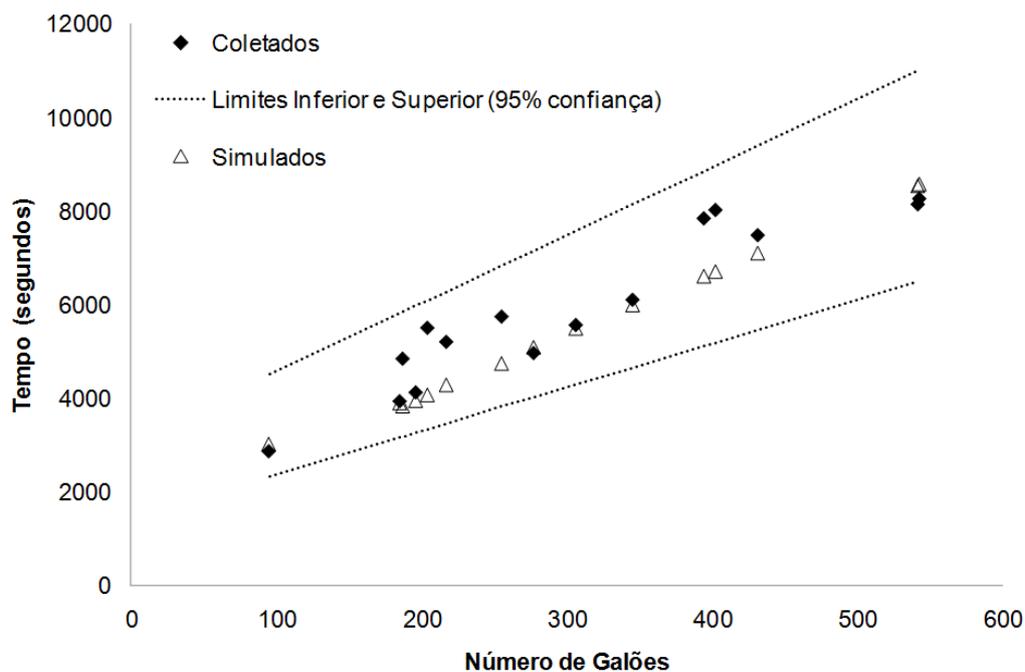
As distribuições ajustadas para as etapas de lavagem automática e envase foram a Normal (tempo médio de 12.88s e 40.90s e desvio padrão de 2.54s e 2.89s, respectivamente). Tal ajuste, provavelmente, estivesse relacionado ao fato de serem realizadas automaticamente, com mínima interferência dos operadores que as supervisionavam.

O Carregamento, apesar de apresentar relativa semelhança com o descarregamento, teve seus dados ajustados à Distribuição Normal, com tempo médio de 3.98s; e desvio padrão de 1.89s. Nesta etapa, diferentemente da inicial, a esteira definia a velocidade do processo, além da atividade ser realizada por três funcionários concomitantemente.

As etapas de Túnel germicida, e Inspeção, Rotulagem e Lacre foram construídas considerando-se a velocidade da esteira (0.1441 m/s). Observou-se nestas etapas que, durante a rotação, o número de galões sobre a esteira foi semelhante ao observado no sistema real (não ocorrendo acúmulos), garantido o adequado funcionamento do modelo computacional.

A comparação dos tempos de processamento total reais e os gerados (simulados) pela rotação do modelo computacional estão apresentados na Figura 15.

Figura 15: Tempos de processamento total reais (◆) e simulados (△) em relação ao número de galões que iniciavam o processo.



Fonte: Arquivo pessoal

Pela análise de regressão dos dados simulados foi obtida equação de primeira ordem, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,99, definida por $y = 1517,150 + 12,925x$. Os limites inferior e superior, com nível de confiança de 95%, foram representados pelas equações $y = 1382,986 + 12,520x$ e $y = 1651,314 + 13,329x$, respectivamente. Os limites continham os valores coletados no sistema real, garantindo que o modelo computacional representasse de forma adequada o sistema real.

Contudo, os pontos que representavam os dados coletados no sistema real mostravam-se mais dispersos que aqueles obtidos pela rotação do modelo computacional. Os pontos que se situavam acima dos simulados, que significavam maior tempo de processo para a mesma quantidade de galões, ocorreram principalmente, por falhas no processo, devido a eventos (problemas) cotidianos que, além de aumentarem o tempo de produção, aumentavam os custos industriais.

A maior parte desses eventos estava relacionada a fatores como atraso no abastecimento de insumos necessários a produção (lenços, rótulos, tampas, produtos de limpeza e sanitização, lacres, etc.), desatenção dos colaboradores durante o processo, logística de descarregamento ineficiente, planejamento de produção dependente dos clientes, parada dos equipamentos, treinamento insuficiente dos colaboradores, dentre outros.

O modelo computacional desenvolvido foi importante para a Indústria analisada por ser uma ferramenta de controle da produção, que além de permitir a visualização do comportamento do sistema real, também facilitou a identificação de possíveis falhas, podendo deste modo, melhorar o fluxo produtivo por meio da verificação das etapas do processo.

Por meio dos conhecimentos operacionais adquiridos na construção do modelo, é possível mencionar que o mesmo poderá ser aprimorado em trabalhos futuros, melhorando a coleta de dados e também incluindo situações mais específicas que não puderam ser previstas nesta simulação. Como sugestão, poderá ser complementado a este, modelos futuros que simulam linhas de embalagens descartáveis, custos de produção total, quantidade de produtos de higienização/ sanitização utilizados, ou mesmo linhas de qualquer processo que se assemelhe ao software desenvolvido.

4. Considerações Finais

O presente artigo contribui com a utilização da simulação em sistemas produtivos industriais. Atendendo o objetivo do presente estudo, o modelo computacional implementado foi aplicável para simular a dinâmica operacional de linhas processadoras de Água Mineral,

mostrando ser uma ferramenta eficaz para o controle do tempo total de processamento, possibilitando a redução dos custos de produção.

A condução de trabalhos futuros poderá utilizar as pesquisas aqui apresentadas, tentando minimizar as variações do sistema já discutidas, por meio de uma coleta de dados mais criteriosa.

Os resultados encontrados mostram que poderão ser desenvolvidos outros modelos que possuam condições semelhantes. Sendo possível também transpor facilmente este modelo para outras empresas da área.

Referências

Adane, T. F., & Nicolescu, M. (2014). System dynamics analysis of energy usage: case studies in automotive manufacturing. *International Journal of Manufacturing Research* 5, 9(2), 131-156.

Ferreira, J. O., Batalha, M. O., & Domingos, J. C. (2016). Integrated planning model for citrus agribusiness system using systems dynamics. *Computers and Electronics in Agriculture*, 126, 1-11. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169916301727>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.029>

Fetene Adane, T., Bianchi, M. F., Archenti, A., & Nicolescu, M. (2019). Application of system dynamics for analysis of performance of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 53, 212-233. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612519300895>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.004>

Franco, E. F., HIRAMA, K., & CARVALHO, M. M. (2018). Applying system dynamics approach in software and information system projects: A mapping study. *Information and Software Technology*, 93, 58-73. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584916302166>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.08.013>

Leclerc, H., & Moreau, A. (2002). Microbiological safety of natural mineral water. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(2), 207-222. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168644502000979>.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(02\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(02)00097-9)

Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., & Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 141, 307-316. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418303956>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027>

Oyarbide, A., Baines, T. S., Kay, J. M., & Ladbrook, J. (2003). Manufacturing systems modelling using system dynamics: forming a dedicated modelling tool. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 02(01), 71-87. Retrieved from <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219686703000228>.
doi:10.1142/s0219686703000228

Penido, F. C. L., Piló, F. B., Sandes, S. H. d. C., Nunes, Á. C., Colen, G., Oliveira, E. d. S., . . . Lacerda, I. C. A. (2018). Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(4), 823-831. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1517838217304859>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.02.001>

Pereira, A. S., Shitsuka, D., Parreira, F., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Petraccia, L., Liberati, G., Giuseppe Masciullo, S., Grassi, M., & Fraioli, A. (2006). Water, mineral waters and health. *Clinical Nutrition*, 25(3), 377-385. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561405001792>.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2005.10.002>

Sala-Comorera, L., Blanch, A. R., Casanovas-Massana, A., Monleón-Getino, A., & García-Aljaro, C. (2019). Traceability of different brands of bottled mineral water during shelf life, using PCR-DGGE and next generation sequencing techniques. *Food Microbiology*, 82, 1-10. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002018302806>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.006>

Sterman, J. (2010). *Business dynamics*: Irwin/McGraw-Hill c2000..

Von Bertalanffy, L. (1973). The meaning of general system theory. In: von Bertalanffy L, editor. *General system theory: foundations, development, applications*. Rev. ed. New York: George Braziller Inc.; p. 30–52.

Zambon, A. C. (2006). Uma contribuição ao processo de aquisição e sistematização do conhecimento multiespecialista e sua modelagem baseada na dinâmica de sistemas. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Giselle de Lima Paixão e Silva -	42 %
Robson Maia Geraldine -	26 %
Reginaldo Figueiredo Santana -	14%
Juliana Aparecida Correia Bento -	8 %
Menandes Alves de Souza Neto -	5 %
Márcio Caliarí -	5 %