

ADOLFO VICENTE ARAÚJO

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE IOGURTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A663m Araújo, Adolfo Vicente, 1989-
2017 Modelagem e simulação do processo produtivo de iogurte /
Adolfo Vicente Araújo. – Viçosa, MG, 2017.
xi, 43f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Daniel Marçal de Queiroz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.41-43.

1. Controle de produção. 2. Simulação (Computadores).
3. Iogurte. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 658.787

ADOLFO VICENTE ARAÚJO

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE IOGURTE

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de março de 2017.



Francisco de Assis de Carvalho Pinto
(Coorientador)



Alexandre Navarro da Silva



Luis Cesar da Silva



Daniel Marçal de Queiroz
(Orientador)

“Sempre que houver alternativas, tenha cuidado. Não opte pelo conveniente, pelo confortável, pelo respeitável, pelo socialmente aceitável. Opte pelo que gostaria de fazer, apesar de todas as consequências.”

(Osho)

À minha amada Família.
Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade em cursar o Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Daniel Marçal, pela orientação, conhecimentos passados, pela paciência e compreensão.

Aos Prof. Francisco, Sárvio e Murilo pelas contribuições e sugestões neste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial ao Délio, Graça e Rafael.

À Agroindústria de Laticínios Funarbe, pela oportunidade e confiança.

Aos funcionários da Agroindústria de Laticínios Funarbe, em especial ao Mateus Guedes, pelo auxílio na coleta de dados.

Aos amigos Gemima Arcanjo, Thuany Araújo e aos amigos da Mecanização Agrícola.

Agradeço a todos que de alguma forma me auxiliaram neste desafio.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 A AGROINDÚSTRIA DE LATICÍNIOS	3
2.2 MAPEAMENTO DE PROCESSOS	4
2.2.1 MODELAGEM DE PROCESSOS.....	5
2.3 MODELGAEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	6
2.3.1 TIPOS DE SIMULAÇÃO	7
2.3.2 APLICABILIDADE DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	7
2.4 PRINCÍPIOS DO LEIAUTE	8
2.5 A TOMADA DE DECISÃO NA AGROINDÚSTRIA.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 COLETA DOS DADOS	10
3.2 FLUXO DOS SUBPROCESSOS	11
3.3 MAPEAMENTO DO SETOR PRODUTIVO DE IOGURTE.....	13
3.4 LEIAUTE	14
3.5 TEMPO DOS SUBPROCESSOS.....	15
3.6 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.....	16
3.6.1 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	17
3.6.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 MAPEAMENTO DO SETOR PRODUTIVO DE IOGURTE.....	19
4.2 LEIAUTE ATUAL.....	21
4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.....	22
4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.....	30
4.4 ANÁLISES DOS CENÁRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO	32
5. CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos símbolos BPMN	14
Quadro 2 - Elementos BPMN	20
Quadro 3 - Estatística descritiva e <i>outliers</i> dos tempos dos subprocessos	23
Quadro 4- Medidas de distribuição de probabilidades dos tempos dos subprocessos	27
Quadro 5 - Quantidade simulada de unidades processadas diariamente dos produtos	30
Quadro 6 - Intervalo de confiança do modelo implementado	31
Quadro 7 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 01	33
Quadro 8 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 02	33
Quadro 9 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 03	34
Quadro 10 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 04.	35
Quadro 11 - Elementos propostos BPMN	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapeamento de processos para produção de iogurte.	19
Figura 2 - Mapeamento de processo do envasamento de iogurte.	20
Figura 3 - Diagrama de inter-relações preferenciais do setor de produção de iogurte.	21
Figura 4 - Leiaute atual do sistema produtivo de iogurte.....	22
Figura 5 – Distribuição de frequências dos tempos dos subprocessos.....	25
Figura 6 - Modelo de simulação do processo de produção de iogurte utilizando o software Arena.	29
Figura 7 - Mapeamento de processos proposto para a produção de iogurte.	36
Figura 8 - Mapeamento de processos proposto do envasamento de iogurte.....	36
Figura 9 - Diagrama de Inter-relações Preferenciais do novo setor de produção de iogurte.	38
Figura 10 - Leiaute proposto para o sistema produtivo de iogurte.	39

RESUMO

ARAÚJO, Adolfo Vicente, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2017. **Modelagem e simulação do processo produtivo de iogurte.** Orientador: Daniel Marçal de Queiroz. Coorientadores: Domingos Sárvio Magalhães Valente, Francisco de Assis de Carvalho Pinto e Murilo Aparecido Voltarelli.

A modelagem e simulação computacional são direcionada à diversas aplicações de processos da tomada de decisão, possibilitando prever o comportamento do sistema frente a diversas situações. O desenvolvimento de modelos que contribuam para a compreensão eficazes dos problemas enfrentados, e que, proponham sistemas e métodos que deem suporte às atividades da agroindústria do Laticínios Funarbe, foram de grande auxílio para prover um melhor planejamento. O trabalho realizado aplicou a modelagem e a simulação computacional no setor produtivo de iogurte, identificando os gargalos e apresentando possíveis propostas de modificações, visando, principalmente, o aumento da capacidade produtiva em 5000 litros de iogurte. Especificamente, mapeou o processo atual da produção de iogurte para o desenvolvimento de um modelo computacional. Com base no modelo desenvolvido analisou-se as modificações no sistema de produção de iogurte considerando opções que possam gerar melhorias no processo e atender o novo patamar de demanda. Consequentemente, foi possível propor um novo leiaute. O setor produtivo de iogurte é composto pelos subprocessos: homogeneização, mistura, fermentação, pasteurização, análise química, resfriamento, adição de base das frutas, montagem do aparelho dosador, envasamento e estocagem. O iogurte produzido é envasado em embalagens: 120, 185, 860 g e 10 kg. O desafio consistiu na análise estruturada do processo produtivo por meio de métodos científicos. Foi utilizada a metodologia de pesquisa-ação como estrutura para o projeto. Para o mapeamento utilizou-se da técnica de Notação de Modelagem de Processo de Negócios, em busca de uma padronização dos subprocessos do setor. Para a modelagem utilizou-se o software de simulação Arena 14.7, produzido pela empresa Rockwell Automation. O modelo desenvolvido foi validado. Para a validação foram comparados os resultados de produção de iogurte coletados na fábrica com os resultados simulados pelo modelo computacional. O modelo de simulação foi replicado trinta vezes. Com base nos resultados da simulação foram determinados a precisão e o intervalo de confiança do modelo. Foram estabelecidos dois indicadores para realizar a análise de quatro

cenários diferentes. Os indicadores utilizados foram: quantidade de produtos fabricados diariamente e o tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso de envasamento para cada tipo de embalagem. No cenário 01 adicionou-se uma máquina exclusiva para o envase da embalagem com 860 g. No cenário 02 verificou a substituição da máquina de envase de 120 g existente. No cenário 03 realizou a combinação dos cenários (01+02). Já para o cenário 04 adquiriu dois tanques novos, uma para fermentação e outro para o produto pronto, além das mudanças previstas pelo cenário 03. Os cenários 01, 02 e 03 apresentaram um acréscimo na quantidade de produtos fabricados diariamente, entretanto, com capacidade produtiva limitada de 3000 litros de iogurte, não alcançando a demanda projetada. O cenário 04, atenderia a demanda projetada de aumento de 5000 litros, sem comprometer o tempo de operação de fabricação dos produtos. Assim, podemos confirmar que o cenário 04 representa a melhor opção. Conclui-se, que a utilização da modelagem por processos de negócio (BPMN) possibilitou representar os diferentes aspectos para descrição dos subprocessos do setor produtivo de iogurte, trazendo uma identificação das melhorias que o processo necessitou. A modelagem e simulação computacional mostrou-se de grande valia para a orientação de inconformidades, atrasos e localização dos gargalos. Além disso, a simulação foi fundamental para a tomada de decisão acerca de modificações na organização para o aumento da capacidade produtiva e proposição de um novo leiaute que atendesse o novo patamar de demanda.

ABSTRACT

ARAÚJO, Adolfo Vicente, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2017. **Modeling and simulation of the yoghurt production process.** Adviser: Daniel Marçal de Queiroz. Co-advisers: Domingos Sárvio Magalhães Valente, Francisco de Assis de Carvalho Pinto and Murilo Aparecido Voltarelli.

Computer simulation has many applications in helping the process of taking decisions. The development of models that contribute to an effective comprehension of the problems faced and that provide methods that give support to the agro-industrial activities of the Funarbe Dairy Factory greatly helped the team to provide better planning. In this study, we applied computational simulation and modeling in the yoghurt production sector to identify bottlenecks and present suggestions for improvement, mainly seeking to raise the productive capacity in 5000L of yoghurt. We mapped the current yoghurt production process in order to develop a computational model. Based on the model, we analyzed the changes in the yoghurt production system considering options that can generate improvements in the process and attend the new level of demand. Therefore, we were able to propose a new layout. The yoghurt production sector is composed of the homogenization, blending, fermentation, chemical analysis, cooling, fruit addition, setup of the dozer device, bottling and stocking sub-processes. The factory packs the yoghurt in four different packages: 120g, 185g, 860g and 10kg. The challenge presented consisted in providing a structured analysis of the productive process using scientific methods. We chose the research-action methodology as structure for the project. To execute the mapping, we used the Business Process Modelling Notation technique, seeking to standardize the sub processes of the sector. To perform the modeling, we used the simulation software Arena 14.7, developed by Rockwell Automation. The developed model was then validated. To validate the model, we collected the yoghurt production data for three days and compared it to the results simulated by the computational model. The yoghurt production simulation model was executed thirty times. Based on the simulation results, we determined the model's precision and confidence interval. We established two indicators to analyze the four different scenarios. The indicators used were: number of products produced daily, running time of the "setup of the dozer device" and "bottling" sub-processes and the utilization rate of the bottling equipment. We analyzed the three indicators in four different scenarios based on the simulation model with the

smallest percent error. In scenario 01, we added a machine to be used exclusively in bottling the 860g packages. In scenario 02, we replaced the machine bottling the 120g packages. Scenario 03 was the combination of scenarios 01 and 02. In scenario 04, we added two new tanks, one for fermentation and the other one for the finished product, in addition to the changes in scenario 03. Scenarios 01, 02 and 03 resulted in an increase of products produced daily; however, with a productive capacity of 3000L of yoghurt, they did not attend the projected demand. Scenario 04 would attend the increase in the projected demand of 5000L, without compromising the operational time required to manufacture the products. Therefore, we confirmed that scenario 04 is the best option. We concluded that the use of Business Process Modelling Notation (BPMN) allowed us to represent the different aspects used to describe the sub processes of the yoghurt production sector, identifying the improvements that the process needed. The modelling and computational simulation showed great value in identifying unconformities, delays and bottlenecks. In addition, the simulation was fundamental to take decisions concerning modifications in the organization seeking to improve the productive capacity and to propose a new layout that would attend the new level of demand.

1. INTRODUÇÃO

O setor lácteo brasileiro tem vivenciado grandes transformações nas últimas décadas, sobretudo após a desregulamentação ocorrida em 1991. A década de 90 foi a mais marcante para o agronegócio do leite no Brasil. O setor lácteo passou a conviver com o fim do tabelamento do preço de leite, possibilitando a abertura de caminho para o incremento de competição e, consequentemente, do desenvolvimento deste setor. As importações de derivados lácteos pelo Brasil, que envolviam grandes volumes na década de 90, tornaram-se decrescentes na década seguinte, enquanto as exportações brasileiras passaram a ser crescentes neste período (MAIA, et al, 2013). A partir do ano 2000, ocorreu a inserção do País no mercado internacional de lácteos. O ano de 2004 ficou marcado pelo primeiro superávit alcançado pelo Brasil na balança comercial de lácteos. Desde então, as exportações brasileiras cresceram consideravelmente (CARVALHO, 2010).

No entanto, apesar do Brasil ser um grande produtor, o País ainda importa lácteos para abastecer o mercado interno. De 2010 a 2013 a produção leiteira no Brasil cresceu aproximadamente 16,0% (IBGE, 2015). Segundo Carvalho (2010) a agroindústria de laticínios foi a grande responsável por esse crescimento, pois dentre os diversos setores da indústria alimentícia. O setor de laticínios destaca-se na segunda colocação de faturamento líquido dos produtos alimentares. Estima-se que a participação do setor de laticínios no faturamento total da indústria de alimentos brasileira seja de 13,0% (ABIA, 2015). Logo, pode-se perceber que a agroindústria de laticínios tem condições peculiares que demandam estratégias para a manutenção e desenvolvimento do setor.

Diante da necessidade de se manterem competitivas em mercado globalizado, as organizações foram forçadas a adotarem novas tecnologias visando reduzir o custo de produção e a maximizar os lucros, para manterem competitivas. Segundo Almeida Júnior e Silva (2005) as agroindústrias devem desenvolver sistemas de controle de processo de produção, como gastos, suprimentos, disponibilidades e restrições a fim de obter eficiência em atender a demanda do mercado. Para isso, é fundamental que os tomadores de decisão conheçam profundamente os processos produtivos, e atuem preventivamente em relação aos cenários futuros. (TURBAN et al., 2005). Dessa forma, surge a necessidade de sistemas de suporte às atividades da agroindústria.

Algumas ferramentas que podem ser utilizadas são o mapeamento de processos, a modelagem e simulação matemática e a análise de leiaute dentro da pesquisa operacional.

O mapeamento de processos consiste em um rol de atividades que demonstram o que as organizações empresariais de fato realizam (PIDD, 2001). A partir do mapeamento de processos, é possível definir as variáveis associadas aos fatores críticos que afetam o desempenho dos processos produtivos (PAIM et al., 2009). Vários procedimentos específicos são desenvolvidos para o controle do processo para determinação do processo ótimo (VÖLKNER e WERNERS, 2002). Segundo Law e Kelton (2007), a modelagem e simulação é direcionada à diversas aplicações no processo de apoio à tomada de decisão, possibilitando prever o comportamento do sistema frente a diversos cenários, permitindo uma análise sobre os fatores críticos no processo para o aumento da produtividade. Assim, a modelagem e simulação computacional, disponibilizará resultados para direcionar os gestores a identificar os melhores leiautes operacionais (AHUMADA e VILLALOBOS, 2009).

A utilização de técnicas de otimização fundamentadas em processos que envolvem múltiplos objetivos vem crescendo de forma significativa no setor alimentício (FIGUEIREDO, 2001). Uma maior disponibilidade de informações acerca dos processos, promovida pela evolução da tecnologia de informação vem proporcionando um estudo no sistema de alimentação por meio de ferramentas de modelagem (PIZZUTI e MIRABELLI, 2015). Observa-se que muitas técnicas de modelagem foram propostas nas últimas décadas, no entanto, nenhuma específica para o setor alimentício. Logo, uma forma amplamente estabelecida para determinar a eficácia da modelagem no setor alimentício é por meio de análise da simulação (RECKER et al., 2009). Diante do exposto, o estudo teve como objetivo principal a aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio aos tomadores de decisão, visando o aumento da capacidade produtiva de uma agroindústria de laticínios.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A AGROINDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

O desenvolvimento da agroindústria de laticínios ocorreu mais fortemente a partir do crescimento dos centros urbanos, o que ocorreu concomitantemente com o desenvolvimento industrial. As agroindústrias de laticínios no Brasil foram formadas por empresas médias de caráter familiar e por Cooperativas. Na década de 70, as indústrias internacionais de laticínios entraram no Brasil e, na década de 80, avançaram conseguindo aprimorar as cadeias produtivas com a integração dos fornecedores (JANK et al., 1999).

Ainda segundo Jank et al. (1999), o sistema agroindustrial do leite brasileiro sofreu profundas mudanças de caráter estrutural desde a virada dos anos 90. Primeiro, veio a desregulamentação do mercado logo no início do governo Collor, liberando os preços dos produtos após mais de quatro décadas de controle estatal. Simultaneamente, ocorreu a abertura comercial ao exterior e a consolidação do Mercosul, que representaram um incremento da concorrência com produtos importados. Finalmente, o Plano Real trouxe a redução da inflação e a estabilização da economia.

O crescimento das redes de supermercados provocou uma verdadeira revolução nesse segmento, uma vez que houve uma mudança no sistema de comercialização dos produtos lácteos. Essa integração entre supermercados e as agroindústrias de laticínios produziu um crescimento acelerado da produção e consumo, o que, em princípio poderia ser encarado como algo positivo, resultou em redução das margens de lucro das empresas, devido ao aumento do poder de barganha das grandes redes de supermercados. Se por um lado os supermercados diminuíram as margens de lucros das indústrias de laticínios, esses mesmos supermercados viabilizaram um aumento de escala de produção dos produtos lácteos, em função da organização das redes de distribuição ao varejo (STAHLBERG FILHO, 1997). Entre 2000 e 2008, enquanto a produção mundial de leite de vaca cresceu em média 2,1% ao ano, no Brasil esse crescimento foi de 4,0% ao ano (FAO, 2010).

2.2 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

O surgimento de organizações orientadas por processos talvez seja um marco na administração de empresas, uma mudança de paradigma. Antes disso, o foco era na estruturação funcional, que provocava uma grande especialização dos colaboradores e uma visão compartimentada do funcionamento de toda organização, gerando diversos conflitos e ineficiências (HAMMER e CHAMPY, 1993). O mapeamento de processo é um conjunto de atividades lógicas, relacionadas e sequenciais que, a partir de uma entrada de um fornecedor, agrega-lhe valor e produz uma saída para um cliente (HARRINGTON e HARRINGTON, 1997). Davenport (1994) define como uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo, com um começo, um fim e entradas e saídas claramente identificadas: uma estrutura após a ação.

Uma maior disponibilidade de informações acerca dos processos, promovida pela evolução da tecnologia de informação, vem proporcionando o estudo por meio de ferramentas de mapeamento (MIRABELLI et al., 2012). Hammer (2001) destaca quatro características de um bom mapeamento por processo: (i) O processo deve trazer resultados. Todos dentro da empresa devem entender o porquê e a melhor forma de fazer o trabalho. Treinamento e avaliação de desempenho reforçam a orientação para os resultados dos processos. (ii) Os processos devem ser focados nos clientes. Você deve avaliar os processos em si e analisá-los dentro da visão dos consumidores. (iii) Os processos são holísticos. Os processos devem transcender as atividades individuais. Isso significa entender como as atividades podem trabalhar juntas para produzir o melhor resultado. O valor superior para os consumidores é atingido quando os departamentos e colaboradores trabalham juntos para um propósito unificado. (iv) Finalmente, um processo inteligente está baseado na convicção que o sucesso do negócio depende de modelos bem desenhados de trabalho.

O propósito da orientação por mapeamento de processos é alcançar melhorias em custo, tempo e qualidade, dando à organização flexibilidade e habilidade de mudança. Organizações hierárquicas tendem a ser estáveis e inflexíveis, enquanto que as orientadas por processos podem agir rapidamente conforme o ambiente (AGUILAR et al., 2008). Assim, no âmbito de uma agroindústria, o mapeamento por processo quando adotado funciona como um diferencial da administração, por

levantar e modelar os processos, e por evidenciar problemas, facilitando a reestruturação organizacional e a concepção e implantação de uma arquitetura integrada de sistemas. Deste modo, uma organização que conhece os seus processos tem maior potencial de resultados na integração entre suas áreas (BURLTON, 2001).

2.2.1 MODELAGEM DE PROCESSOS

Uma notação padrão para modelagem de processos pode prover às organizações o entendimento de procedimentos internos de negócio de forma gráfica e comunicar os procedimentos de modo uniforme (LOUZADA e DUARTE, 2013). Rozenfeld (2006) descreve processos de negócio como um fenômeno que ocorre dentro das empresas. Forma-se uma unidade coesa que deve ser focalizada em um tipo de negócio, normalmente direcionado a um determinado mercado ou cliente, com fornecedores bem definidos. A vantagem de usar modelos estruturados para a descrição de processos está na qualidade da captura de informação e no conhecimento formalizado (KALPIC e BERNUS, 2002).

Entende-se por Modelagem do Estado Atual, a construção abstrata da realidade (BALDAM et al., 2009). Um bom modelo deve apresentar uma maneira que seja fácil de ser transferida para o conhecimento tácito para quem estiver visualizando a notação gráfica. A Modelagem do Estado Futuro pretende encontrar uma forma de melhorar o processo produtivo, inová-lo ou até mesmo questionar se alguns processos se fazem necessários e se de fato agregam valor à organização, por intermédio de discussões entre as partes envolvidas (BALDAM et al., 2009).

Na fase construtiva da modelagem de processos, deseja-se que as ferramentas utilizadas tenham as seguintes características: a) Facilidade de desenho do processo; b) Padrões de simbologia prontos para o uso; c) Correções de fluxo com facilidade; d) Integração com bancos de dados e outros sistemas; e) Possibilidade de agregar informações às atividades (regras, custos, sistemas, documentos gerados, etc.); f) Publicação dos modelos e documentação em ambiente colaborativo (BALDAM et al., 2009). Uma ferramenta que têm demonstrado essas características é a *Business Process Modeling Notation* (BPMN).

A simbologia da BPMN permite criar modelos de processos de negócio – *Business Process Diagrams* (BPD) para finalidades de documentação e comunicação.

Esses modelos seguem uma notação padrão de fluxogramas desenvolvidos pelo Instituto de Gestão de Processos de Negócio – *The Business Process Management Initiative* (BPMI). A especificação da BPMN consiste em prover uma notação que seja de fácil leitura e compreensão por todos os usuários de negócios (CAMPOS, 2014). Desde analistas de negócios, que criam os modelos iniciais de processos, aos desenvolvedores técnicos, responsáveis pela implementação tecnológica e finalmente para as pessoas do negócio, que irão gerenciar e monitorar estes processos (WHITE, 2008).

2.3 MODELGAEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A modelagem e simulação computacional consiste na compreensão das características de um sistema por meio de outro similar, com o objetivo de testar diferentes alternativas operacionais a fim de encontrar e propor melhores formas de operação que visem à otimização do sistema como um todo (PRADO, 1999). Pidd (2001) ressalta que a modelagem e simulação computacional é mais viável que alterações reais no ambiente organizacional devido ao baixo custo, maior confiabilidade e rapidez de respostas.

As atividades do processo de modelagem e simulação podem ser resumidas pela construção do modelo, passando pela transformação de modelo conceitual em modelo computacional e chegando aos testes experimentais em cenários para a busca das melhores ou da melhor alternativa (HARREL et al., 2002). Esses cenários podem ser modificados e testados sem comprometer o sistema real. Por meio da modelagem e simulação computacional identifica-se os melhores caminhos possíveis durante o processo de decisão (SHAFER e SMUNT, 2004). Assim, segundo Law e Kelton (2007), em algum momento do tempo a maioria dos sistemas necessitará de conclusões e orientações acerca do relacionamento entre as diversas variáveis que o compõem.

2.3.1 TIPOS DE SIMULAÇÃO

Para Law e Kelton (2007), os modelos de simulação computacional dividem-se em estática, que representa um sistema num momento particular, e dinâmica, que representa sistemas que mudam com o passar do tempo. A simulação dinâmica divide-se em determinística, em que o conjunto de entradas e saídas não contém variáveis. E estocástica, que possui valores que variam em uma distribuição aleatória. Além disso, a simulação estocástica se divide em contínua, no qual as variáveis de estado mudam ao longo do tempo de simulação. E simulação de eventos discretos, no qual as variáveis de estado se mantêm estáticas por um determinado período de tempo e podem ser modificadas após a ocorrência de outro evento.

2.3.2 APLICABILIDADE DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A modelagem e simulação computacional apresenta-se como uma importante ferramenta para o processo decisório. As suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas organizações (SAKURADA e MIYAKE, 2009). No setor agropecuário e agroindustrial tem-se como exemplo, o desenvolvimento de um modelo utilizado para simular a dinâmica operacional de linhas industriais de abate de frangos, contribuindo para a previsão de variáveis como: tempo de processamento, peso vivo total, peso vivo aproveitado, peso de subproduto, peso da produção total, peso do frango inteiro e peso total de cortes (EBERT et al., 2009).

Segundo Chung (2004) diversos cenários da manufatura podem ser modelados e analisados por meio da simulação computacional, sendo a manufatura uma das principais áreas a alavancar o uso da simulação. No setor da manufatura tem-se como exemplo, a aplicação da simulação para validar possíveis estratégias a serem utilizadas, com o intuito de fornecer um melhor resultado em termos produtivos e financeiros, em um contexto que envolve o desenvolvimento da melhor configuração de máquinas e equipamentos para a célula de manufatura em função dos produtos (HACHICHA et al., 2007). Além disso, Pontes et al. (2008) descreveram a utilização de um simulador para assessorar o gerenciamento de inventário em um centro de distribuição de peças. O simulador fornecia elementos que auxiliam na obtenção de

resultados como: a previsão de demanda, a política de reposição das peças, o percentual de atendimento dos pedidos, os meses de inventário, entre outros.

A modelagem e simulação computacional é utilizada na área de logística para casos como: determinação de rotas mais eficientes, análise dos recursos adequados nos centros de distribuição e coleta, entre outros. Ou seja, para administrar a estocagem e movimentação de materiais dentro da empresa, entre empresas, até o cliente final (BANKS, 1998). No setor de serviço tem-se a aplicação da simulação computacional para determinar a capacidade produtiva do processo de produção de pães (PERGHER et al., 2013). Hussein et al. (2009) apresentaram um estudo realizado no processo produtivo de uma padaria, com o intuito de promover visando à eliminação dos desperdícios no sistema, através de um modelo de simulação, o qual permite analisar: custos, identificar os gargalos, capacidade dos equipamentos, entre outros.

A modelagem e simulação computacional podem auxiliar em decisões sobre investimentos em leiaute de produção, por meio da análise do comportamento de diferentes alternativas de leiaute antes da implantação prática, evitando erros e custos. A principal contribuição da utilização da modelagem e simulação para a análise de leiaute consiste no dimensionamento da linha de produção. Assim, etapas de estruturação e aprimoramento de leiautes produtivos podem ser favorecidas pela utilização da modelagem e simulação computacional (SOARES et al., 2011).

2.4 PRINCÍPIOS DO LEIAUTE

O leiaute é uma das características mais evidentes de uma operação produtiva que determina sua forma e aparência. Segundo Slack et al. (2009), o leiaute também determina a maneira que os recursos transformados fluem por meio da operação. Mudança relativamente pequena na localização de uma máquina, em uma fábrica pode afetar o fluxo de materiais e pessoas utilizados na operação. Isso por sua vez poderá afetar os custos e a eficácia geral da produção. Portanto, o leiaute é uma ferramenta que envolve um conjunto de estratégias para decidir onde colocar todas as máquinas, equipamentos e pessoal da produção. Enfim, o objetivo do leiaute é a simplificação do trabalho, eliminando as atividades desnecessárias (CORRÊA e CORRÊA, 2006).

O leiaute corresponde ao arranjo de diversos postos de trabalho, para maximizar a funcionalidade das atividades (CURY, 2000). Com a utilização de um leiaute adequado é possível obter ganhos em produtividade, já que os produtos estão dispostos de maneira que sejam acessíveis, tanto na localização quanto no manuseio (BALLOU, 2006). Corrêa et al (2001), define o leiaute linear como um processo de produção sequencial, em que o produto a ser transformado movimentar-se enquanto as máquinas permanecem fixas. Os equipamentos são dispostos segundo uma lógica operacional. Para Muther e Wheeler (2000), o leiaute linear é utilizado quando está disponível grande quantidade de peças, o produto apresenta padronização, a demanda é estável e mantém uma continuidade no fluxo de material.

2.5 A TOMADA DE DECISÃO NA AGROINDÚSTRIA

Segundo Zuin e Queiroz (2006), a tomada de decisão nos ambientes gerenciais é definida basicamente como um processo de escolha entre possíveis alternativas de ação para atingir um determinado objetivo organizacional. Até alguns anos atrás, a tomada de decisão, era quase exclusivamente baseada nos fatores pessoais relacionados diretamente com as experiências, intuições e criatividade do gerente. Entretanto, os adventos de tecnologias da informação, juntamente com o fortalecimento dos mercados globais e aumento da competitividade, vêm fazendo com que esses fatores pessoais se tornem cada vez menos preponderantes e passem a atuar apenas como agentes acessórios.

Atualmente, tomar decisões sem embasamento em históricos consistentes de informações, análise da concorrência, avaliação dos fatores externos, como estabilidade econômica e situação de fornecedores e clientes, é virtualmente impossível. Esse grande número de informações, variáveis, incertezas e alternativas exige, conseqüentemente, algum tipo de ferramenta de apoio computacional para a tomada de decisão. Entre as ferramentas de apoio temos a modelagem e a simulação computacional (ZUIN e QUEIROZ, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na unidade Laticínios *Funarbe*, localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Minas Gerais. A indústria fabrica os produtos como: doce de leite, queijo muçarela, manteiga, leite, requeijão e o iogurte. Em uma análise preliminar com os gestores do Laticínios *Funarbe*, constatou a necessidade da ampliação do setor de produção de iogurte. A capacidade atual do sistema de produção analisado está limitada a 3000 litros de iogurte. No entanto, foi verificado que para 2017 a capacidade produtiva para atendimento da demanda projetada será de aproximadamente 8000 litros de iogurte.

O método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho foi o da pesquisa-ação. Esse método consiste numa pesquisa de base empírica, em que os pesquisadores e os colaboradores do setor estudado atuam de modo participativo ou cooperativo (CARR, 2006). O grupo de trabalho atuou com o intuito de ampliação do setor de produção do iogurte, buscando formas de melhorar o desempenho do sistema em estudo. O método da pesquisa-ação foi aplicado por meio do planejamento da pesquisa, da implementação do modelo computacional, descrição e avaliação dos cenários propostos.

3.1 COLETA DOS DADOS

A produção de iogurte é realizada em um único pavimento. O setor de produção do iogurte trabalha atualmente em dois turnos, o primeiro com início às 6:00 horas e término 16:00 horas e o segundo com início às 18:00 horas e término às 00:00 horas. O estudo foi realizado levantando-se dados no chão da fábrica a respeito dos fluxos dos subprocessos para produção do iogurte. Para coletar os tempos dos subprocessos de cada atividade, utilizou-se um cronômetro digital. Os meses que se realizou a marcação dos tempos de cada etapa dos subprocessos foram de janeiro a março de 2016.

O iogurte é produzido em quatro tamanhos de embalagens: 120, 185, 860 g e 10 kg. Foram definidas as porcentagens das unidades produzidas para cada tipo de embalagem, os valores foram estabelecidos com base nos sete primeiros meses de 2016. As quantidades das embalagens que são utilizadas e projetadas foram

levantadas com base em informações coletadas com o setor de planejamento e controle de produção da empresa.

3.2 FLUXO DOS SUBPROCESSOS

O processo de produção de iogurte é dividido nos seguintes subprocessos:

- **Homogeneização**

O leite passa pelo homogeneizador com vazão de 30 a 100 litros por hora. O homogeneizador pesa 70 kg com dimensões 0,5 x 0,8 x 0,4 m. O equipamento trabalha a alta pressão com o objetivo de reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura e obter, no produto acabado, uma consistência lisa e cremosa.

- **Mistura**

Nesse subprocesso é realizada a padronização do leite no teor de gordura desejável e adição de açúcar ao leite em tanques herméticos. Dois tanques são utilizados, um com capacidade de 1000 litros e outro de 2000 litros. Esses tanques são dotados de rotor responsável por realizar a mistura do leite com o açúcar. Os tanques são herméticos para não ocorrer a entrada de corpos estranhos e/ou bactérias indesejáveis. O subprocesso da mistura ocorre simultaneamente com o subprocesso de homogeneização.

- **Pasteurização**

Um equipamento chamado pasteurizador, aquece o leite de cada tanque hermético até a temperatura de 90° C. O processo é rápido e contínuo, ideal para grandes volumes de leite. O pasteurizador é suficiente para eliminar bactérias patogênicas do leite. Neste processo há redução de 99,5% da população das bactérias deteriorantes.

- Fermentação

A fermentação ocorre nos dois tanques herméticos a uma temperatura entre 42°C e 43°C. Nesse subprocesso, a lactose é transformada em ácido láctico que será o agente da coagulação do leite. São usadas duas bactérias para a transformação da Lactose em ácido láctico: *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*. A fermentação termina quando a acidez desejada é atingida.

- Análise química

Amostras do produto em fermentação nos tanques são coletadas para a determinação do pH. É utilizado um PHmetro digital para essa determinação.

- Resfriamento

Após a fermentação, o produto passa por um resfriador. O produto que sai do resfriador é transferido para outros dois tanques herméticos.

- Adição de base das frutas

Nos dois tanques herméticos após o resfriamento é feita a adição de polpa das frutas. A adição de base das frutas é definida pela programação da produção antes de começar as operações no setor produtivo de iogurte. Os sabores são de morango, pêssego, salada de frutas e coco.

- Montagem do aparelho dosador

São utilizados três tipos de dosadores conforme o tipo de embalagem. Um dosador é usado para a embalagem de 120 g, um outro para as embalagens de 185 g e 860 g, e outro para a embalagem de 10 kg. Os aparelhos dosadores são utilizados de acordo com a programação da produção. O subprocesso de montagem ocorre apenas para as embalagens de 185 g e 860 g que utilizam o mesmo equipamento dosador.

- Envasamento

Dependendo da programação de produção, o iogurte é envasado em embalagem de 120, 185, 860 g ou 10 kg.

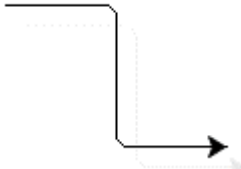
- Estocagem

Cada tipo de embalagem é colocado manualmente em caixas de papelão e transportadas para uma câmara fria na qual a temperatura é mantida entre 1 e 10°C. O tempo total de validade do produto são 40 dias.

3.3 MAPEAMENTO DO SETOR PRODUTIVO DE IOGURTE

A ferramenta de trabalho escolhida para desenvolver o mapeamento de processos do sistema de produção de iogurte foi o programa de computador *Bizagi Process Modeler* versão 3.0 (desenvolvido pela Bizagi Computer Software, Londres). Utilizou-se a notação de modelagem de processos de negócios (BPMN) para mapear corretamente o fluxo de sequência de atividades do setor produtivo do iogurte, por meio de entrevistas estruturadas e acompanhamento das atividades dos operadores. Podendo assim, esquematizar e se comunicar visualmente o fluxo dos subprocessos. No Quadro 1 são apresentados os símbolos utilizados no mapeamento do processo de produção de iogurte e seus significados.

Quadro 1 - Descrição dos símbolos BPMN

	Indica onde um processo é iniciado.		Tarefa realizada por um usuário.
	Indica onde um processo é finalizado.		Tarefa realizada por um sistema sem intervenção humana.
	Gateway do fluxo a seguir por todas suas saídas de forma paralela.		Indica subprocesso.
	Gateway responsável pela escolha de um ou N caminhos. Todas as condições que forem verdadeiras serão escolhidas.		Representa uma tarefa, a qual é uma atividade genérica que está incluída dentro de um processo.
	Gateway da decisão. Apenas um caminho poderá ser escolhido.		Fluxo de sequência.
	Eventos intermediários que indica uma espera dentro do processo.		

3.4 LEIAUTE

Utilizou-se o diagrama de inter-relações preferenciais (DIP), no qual é uma ferramenta que integrou o mapeamento do fluxo de materiais do setor produtivo do iogurte. O DIP trata-se de uma representação gráfica para obter uma impressão visual dos diferentes componentes dos subprocessos estudados. Para tanto, o diagrama foi construído de acordo com a proximidade entre os subprocessos, que foram definidos pelo mapeamento. Logo, o DIP permitiu uma percepção da sequência do processo de fabricação do iogurte para a elaboração de um leiaute linear atual e proposto, pois o

produto a ser transformado movimentava-se enquanto as máquinas permanecem fixas. Os equipamentos foram dispostos de acordo com a sequência de operações.

3.5 TEMPO DOS SUBPROCESSOS

De acordo com Chwif e Medina (2010), o tamanho da amostra dos tempos coletados devem estar entre 100 e 200 observações, pois as amostras com menos de 100 observações podem comprometer a identificação do melhor modelo probabilístico, ao passo que amostras com mais de 200 observações não trazem ganhos significativos ao estudo. Os tempos necessários para execução de cada subprocesso foram determinados com a fábrica em operação. Por meio de uma planilha construiu-se a marcação do tempo inicial e final de cada subprocesso. Para o trabalho foram utilizadas 120 observações.

- Análise dos dados

O *software* utilizado para análise da estatística descritiva dos dados e análise dos *outliers* foi o *Minitab versão 17* (desenvolvido pela *Minitab Inc, State College, Pennsylvania*). Foram analisados os dados dos tempos envolvidos nos diferentes subprocessos que compõem a produção de iogurte. A Estatística Descritiva permitiu resumir, descrever e compreender os dados de uma distribuição usando medidas de tendência central (média e mediana), medidas de dispersão (valores mínimo e máximo, desvio padrão e coeficiente de variação) e quartis. Elaborou-se os *outliers*, que são observações potencialmente discrepantes da população em análise. A identificação foi feita por análise gráfica de *box*, construído da seguinte forma:

- Calculou-se a mediana, o quartil inferior (Q1) e o quartil superior (Q3);
- Subtraiu-se o quartil superior do quartil inferior = (L);
- Os valores que estiverem no intervalo de $Q3+1,5L$ e $Q3+3L$ e no intervalo $Q1-1,5L$ e $Q1-3L$, foram considerados outliers.

- Testes de aderência

O objetivo dos testes de aderência é a verificação da qualidade na escolha da distribuição que se acredita que melhor represente os dados da população. Depois de

realizada a análise descritiva dos dados, foi utilizado o *Input Analyzer* do programa de computador *Arena* versão 14.7 (desenvolvido pela *Rocwell Automation Inc, Milwaukee, Wisconsin*), para determinação do tipo de distribuição de frequências e expressão que melhor descrevia os dados coletados. Assim, foi realizado os testes de Hipóteses para avaliar a melhor distribuição:

- i. H_0 : a distribuição escolhida representa adequadamente os dados coletados.
- ii. Testar o valor de p (maior = melhor).

Desenhou-se a função densidade sobre um histograma para os diferentes tempos dos subprocessos para fornecer a expressão exata do modelo de simulação. Os critérios para realizar os testes de aderência foram:

- i. Testes Chi-quadrado;
- ii. Valor de p , sempre entre 0 e 1;
- iii. p pequeno (< 0.05): aderência pobre;
- iv. Escolher a distribuição com o mínimo *square error*;
- v. *Square error* = soma dos quadrados das diferenças entre as frequências do histograma e da distribuição ajustada.

3.6 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Modelou-se discretamente o sistema produtivo de iogurte utilizando o programa de computador *Arena* versão 14.7. O modelo de simulação foi criado a partir de uma série de objetos do *software Arena*. Os seguintes tipos de objetos foram utilizados:

- a. *Create* - Cria as entidades para a simulação;
- b. *Process* - Impõe um tempo de processamento no caminho da entidade, que pode ou não estar vinculado a um recurso;
- c. *Assign* - Serve para alterar o valor de variáveis, atributos, entidades, e outros parâmetros do modelo. Serve também para marcar o tempo inicial de uma cronometragem do tipo "*Time Interval*", do módulo *Record*;
- d. *Enter* - Indicar a entrada de uma entidade em uma estação;
- e. *Decide* - Permite alterar o caminho da entidade dentro do fluxo, mediante uma condição do sistema ou probabilidade;
- f. *PickStation* - permite uma entidade selecionar uma estação particular das estações múltiplas especificadas;

- g. *Leave* - Indicar a saída de uma entidade de uma dada estação;
- h. *Record* - Serve para registrar estatísticas de contagem e tempo no modelo;
- i. *Dispose* - Retira as entidades do sistema.

3.6.1 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Em todo o desenvolvimento do modelo de simulação, uma das etapas mais importantes é a de validação do modelo. Se não existir uma correlação forte entre os dados gerados pelo modelo e os dados do sistema real, não será possível obter qualidade na tomada de decisão (CHWIF e MEDINA, 2010). Antes de realizar o processo de validação, o modelo desenvolvido passou por um processo de verificação que, visou identificar possíveis erros de implementação na lógica de funcionamento do modelo. A validação garante a precisão do modelo em relação ao sistema real e foi efetuada principalmente com base em dados históricos e no conhecimento de operadores experientes da linha de produção.

Para a validação do modelo foi construído uma amostra piloto com trinta replicações. Assim, foram comparados os resultados de produção do iogurte coletados na fábrica com os resultados simulados pelo modelo computacional. Com base nos resultados da amostra piloto foram obtidos a precisão (tamanho do intervalo de confiança) e o intervalo de confiança (intervalo de valores que contém a média da população, com uma certa confiança estatística). A precisão e o intervalo de confiança foram definidos pela equação 1 e 2, respectivamente, (CHWIF e MEDINA, 2010).

$$h = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$\bar{x} - h \leq \bar{x} \leq \bar{x} + h \quad (2)$$

em que:

$\bar{x}$ = média;

h = precisão;

$t_{n-1, \alpha/2}$ = distribuição t de *Student* com $n - 1$ graus de liberdade e o nível de significância bilateral $\alpha/2$;

s = desvio padrão;

n = número de replicação;

α = nível de significância.

Para que se tenha uma precisão ótima, é necessário que o tamanho do intervalo de confiança seja inferior ou igual a 10% da média da população em análise. Caso a precisão seja superior a 10% da média da população temos que determinar o número de replicações necessárias para encontrar a nova precisão. Utilizando a equação 3, pode-se estimar o número de replicações necessárias (CHWIF e MEDINA, 2010).

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil \quad (3)$$

em que:

n^* = número de replicações necessárias;

h^* = precisão ótima.

O erro relativo é definido pelo modulo da diferença do valor coletado menos o valor simulado, dividido pelo valor coletado. Para indicar a porcentagem multiplica-se por cem.

3.6.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO

Nesta etapa, foram propostas alterações no processo de produção atual, visando identificar aquelas que trouxessem melhor desempenho para a fábrica. Foram estabelecidos dois indicadores de desempenho:

- a. Quantidade de produtos fabricados diariamente (Q);
- b. Tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso de envasamento para cada tipo de embalagem (TS).

Com base nos indicadores analisados para quatro cenários diferentes, verificou-se o efeito da adição de novos equipamentos, bem como a substituição dos equipamentos existentes, para que a demanda projetada seja alcançada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MAPEAMENTO DO SETOR PRODUTIVO DE IOGURTE

No decorrer do mapeamento as etapas vão agregando valor até culminarem no produto final. Utilizou-se de diagramas para documentar os fluxos dos subprocessos. É muito importante que todas as informações colhidas até este momento sejam documentadas e analisadas por todos os envolvidos, que devem estar de acordo com o que for determinado pela pesquisa. Na Figura 1 é apresentado o mapa do processo de produção atual para uma melhor visualização.

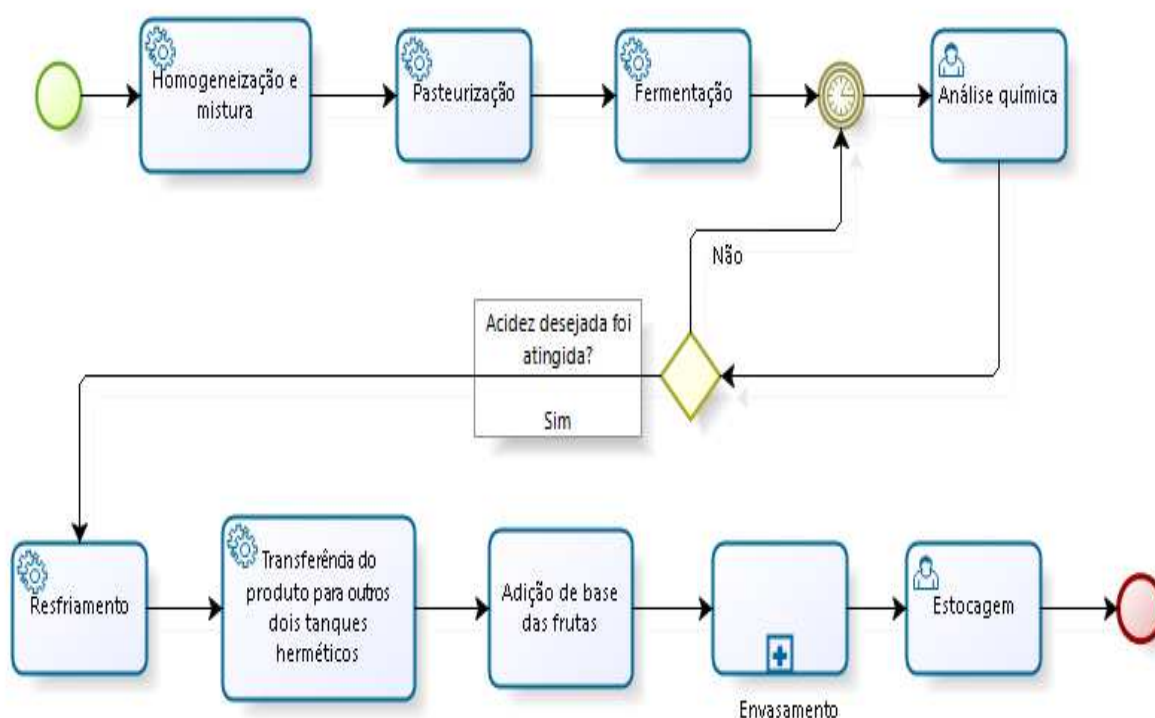


Figura 1 - Mapeamento de processos para produção de iogurte.

A saída do mapeamento atual são quatro tipos de embalagens que são produzidos diariamente. Para tanto, temos uma verdadeira fotografia do estado atual do processo para que se possa entendê-lo por completo e possibilitar a compreensão necessária para se pensar em uma maneira de melhorá-lo. O subprocesso atual de envasamento está representado pela Figura 2.

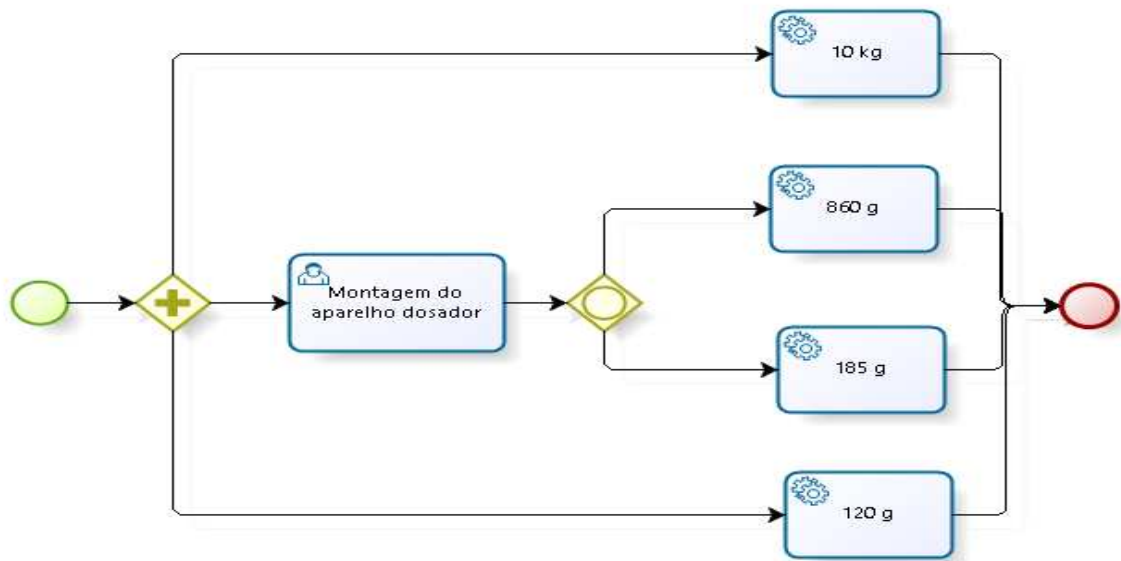


Figura 2 - Mapeamento de processo do envasamento de iogurte.

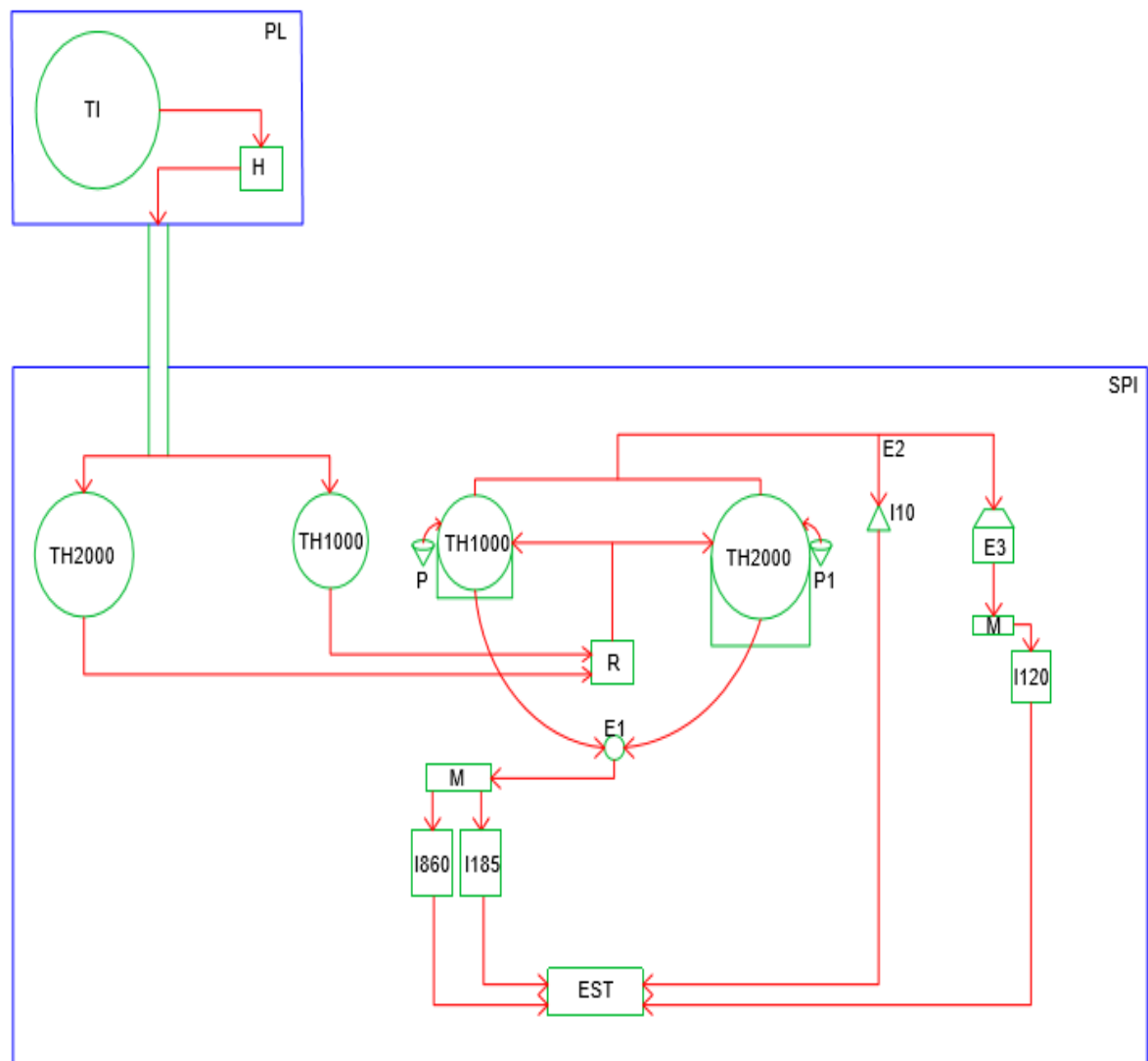
O mapeamento de processo do setor produtivo atual utilizou sete elementos da notação BPMN. Estes elementos tiveram 46 instâncias (soma total de todos os elementos BPMN) considerando o processo principal e o subprocesso de envasamento, conforme detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 - Elementos BPMN

Elementos BPMN	Processo principal	Subprocesso de envasamento	Total
Fluxos de sequência	13	11	
Tarefas	8	5	
Eventos de início	1	1	
Eventos Intermediários	1	-	
Eventos de término	1	1	
Gateways	1	2	
Subprocessos	1	-	
Total	26	20	46

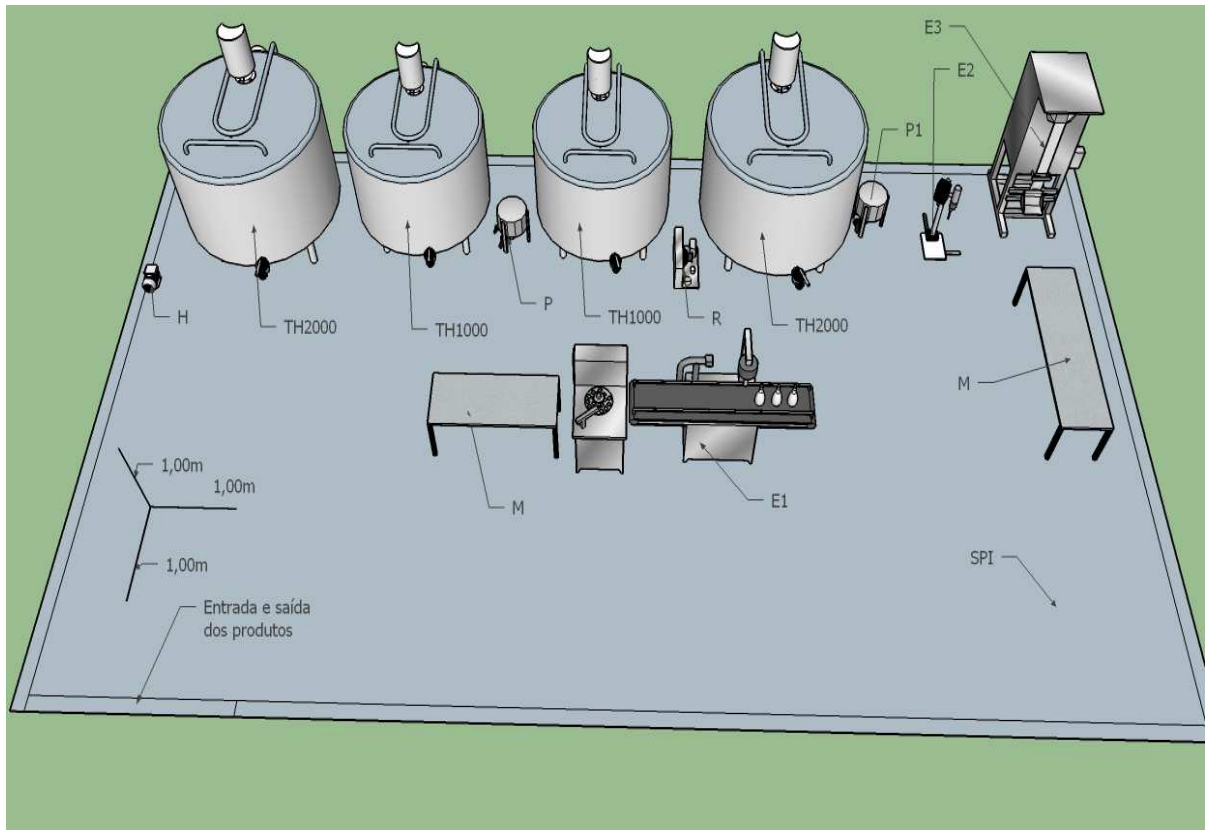
4.2 LEIAUTE ATUAL

O digrama de inter-relações preferenciais é apresentado na Figura 3, em que a linha azul corresponde a delimitação do setor produtivo do iogurte. A linha verde corresponde os equipamentos e a linha vermelha corresponde a sequência de operação. O leiaute atual do setor produtivo do iogurte é sequencial. As máquinas permanecem fixas e os produtos se movimentam, Figura 4.



PL – plataforma; TI – tanque isotérmico; H – homogeneizador; TH2000 – tanque hermético de 2000 L; TH1000 – tanque hermético de 1000 L; R – resfriador; P – dosador automático de polpa de frutas; P1 – dosador manual de polpa de frutas; E1 – envasador de 860 g e 185 g; E2 – envasador de 10 kg; E3 – envasador 120 g; M – mesa para contar as unidades dos iogurtes; I860 – iogurte 860 g; I185 – iogurte 185 g; I10 – iogurte 10 kg; I120 – iogurte 120 g; SPI – setor produtivo do iogurte; Est – estoque.

Figura 3 - Diagrama de inter-relações preferenciais do setor de produção de iogurte.



H – homogeneizador; TH2000 – tanque hermético de 2000 L; TH1000 – tanque hermético de 1000 L; R – resfriador; P – dosador automático de polpa de frutas; P1 – dosador manual de polpa de frutas; E1 – envasador de 860 g e 185 g; E2 – envasador de 10 kg; E3 – envasador 120 g; M – mesa para contar as unidades dos iogurtes; SPI – setor produtivo do iogurte.

Figura 4 - Leiaute atual do sistema produtivo de iogurte.

4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

As análises dos dados de tempos dos subprocessos são listadas referente a medidas de tendência central, medidas de dispersão, quartis e *outliers*. A utilização desta análise permitiu resumir os valores de cada subprocesso em relação a distribuição total dos dados. Essa primeira análise nos mostra a estatística descritiva e *outliers* dos tempos de cada subprocesso, Quadro 3, assim foi possível observar se os dados estão de acordo com a realidade. O teste de aderência foi fundamental para encontrar a distribuição de frequência, Figura 5, e melhor ajuste utilizado no modelo de simulação para cada subprocesso, Quadro 4. Na construção do modelo computacional, utilizou-se como variáveis de entrada o intervalo de tempo de cada subprocesso e a capacidade de produção dos tanques herméticos. Assim, foi possível a construção da planta simulada no *software Arena*, Figura 6.

Quadro 3 - Estatística descritiva e *outliers* dos tempos dos subprocessos

Homogeneização				Pasteurização			
Tanque 1000L		Tanque 2000L		Tanque 1000L		Tanque 2000L	
$\bar{X}$ =	41,4 min	$\bar{X}$ =	86,5 min	$\bar{X}$ =	24,99 min	$\bar{X}$ =	40,94 min
S =	5,24	S =	7,62	S =	4,68	S =	5,6
CV =	12,67	CV =	8,81	CV =	18,73	CV =	13,69
Mín =	25 min	Mín =	68 min	Mín =	14 min	Mín =	29 min
Q1	37 min	Q1	80,25 min	Q1	22 min	Q1	37 min
Med =	42 min	Med =	86 min	Med =	24,50 min	Med =	40 min
Q3	45 min	Q3	92,75 min	Q3	28 min	Q3	44 min
Máx =	54 min	Máx =	102 min	Máx =	40 min	Máx =	55 min
Out =	-	Out =	-	Out =	40 min	Out =	55 min
Fermentação				Resfriamento			
Tanque 1000L		Tanque 2000L		Tanque 1000L		Tanque 2000L	
$\bar{X}$ =	471,67	$\bar{X}$ =	413,12 min	$\bar{X}$ =	24,8 min	$\bar{X}$ =	43,25 min
S =	17,5	S =	20,1	S =	4,96	S =	5,99
CV =	3,71	CV =	4,87	CV =	20,03	CV =	13,86
Mín =	435,00 min	Mín =	366,00 min	Mín =	14,00 min	Mín =	30,00 min
Q1	458,00 min	Q1	399,25 min	Q1	22,00 min	Q1	39,25 min
Med =	473,00 min	Med =	413,00 min	Med =	25,00 min	Med =	43,00 min
Q3	482,75 min	Q3	426,75 min	Q3	28,00 min	Q3	48,00 min
Máx =	536,00 min	Máx =	468,00 min	Máx =	39,00 min	Máx =	59,00 min
Out =	536 min	Out =	-	Out =	39 min	Out =	-

$\bar{X}$ – média; S – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Mín – valor mínimo; Q1 – primeiro quartil; Med – mediana; Q3 – terceiro quartil; Máx – valor máximo; Out – outlier.

Quadro 3 - Estatística descritiva e *outliers* dos tempos dos subprocessos (continuação)

Envasamento							
Embalagem 120 g		Embalagem 185 g		Embalagem 860 g		Embalagem 10 kg	
$\bar{X}$ =	108,99 min	$\bar{X}$ =	37,86 min	$\bar{X}$ =	98,42 min	$\bar{X}$ =	8,23 min
S =	10	S =	1,04	S =	9,5	S =	2,79
CV =	9,18	CV =	18,61	CV =	9,65	CV =	33,92
Mín =	91,00 min	Mín =	20,00 min	Mín =	77,00 min	Mín =	2,00 min
Q1	101,00 min	Q1	33,00 min	Q1	93 min	Q1	6,00 min
Med =	107,00 min	Med =	37,00 min	Med =	99,00 min	Med =	8,00 min
Q3	116,75 min	Q3	42,00 min	Q3	105 min	Q3	10,00 min
Máx =	134,00 min	Máx =	69,00 min	Máx =	123,00 min	Máx =	17,00 min
Out =	-	Out =	69 min	Out =	-	Out =	17 min
Montagem do aparelho dosador 185 g e 860 g				Estoque			
$\bar{X}$ =	33,99 min			$\bar{X}$ =	43,44 min		
S =	5,58			S =	6,79		
CV =	16,44			CV =	15,65		
Mín =	21 min			Mín =	28,00 min		
Q1	30,25 min			Q1	39,25 min		
Med =	35 min			Med =	43,00 min		
Q3	37,75 min			Q3	47,00 min		
Máx =	49 min			Máx =	62,00 min		
Out =	-			Out =	62 - 59 (min)		

$\bar{X}$ – média; S – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; Mín – valor mínimo; Q1 – primeiro quartil; Med – mediana; Q3 – terceiro quartil; Máx – valor máximo; Out – outlier.

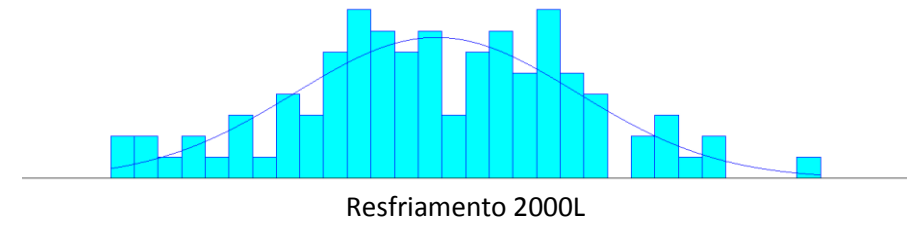
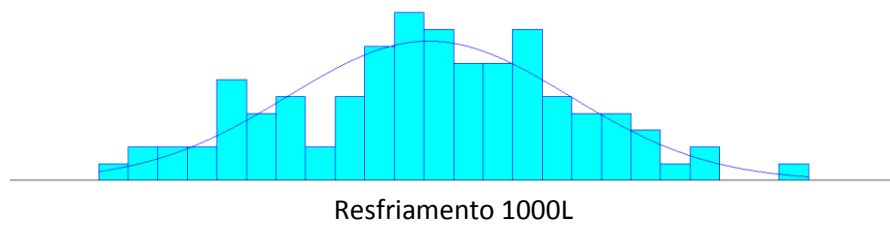
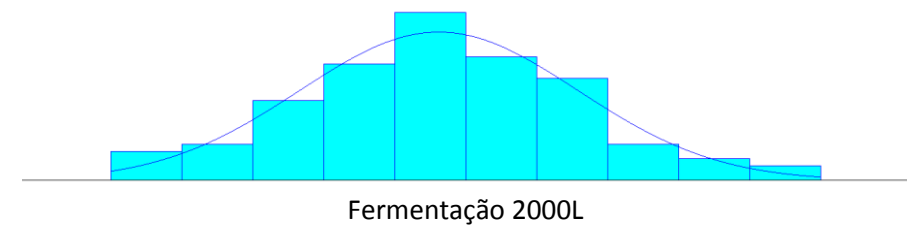
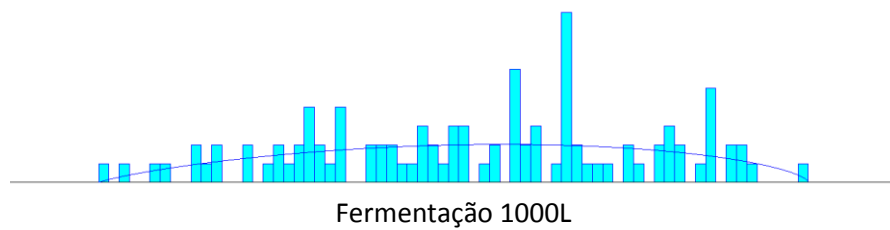
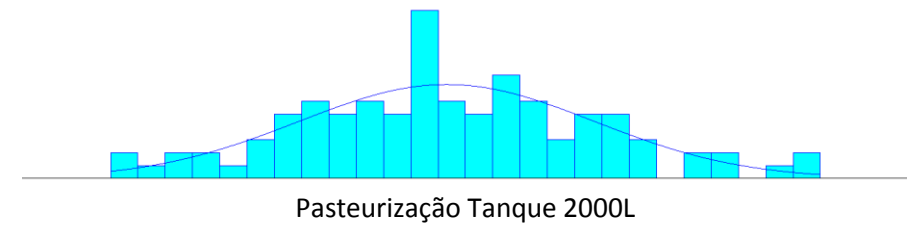
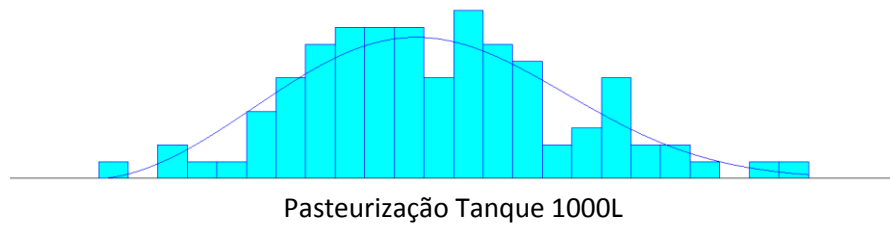
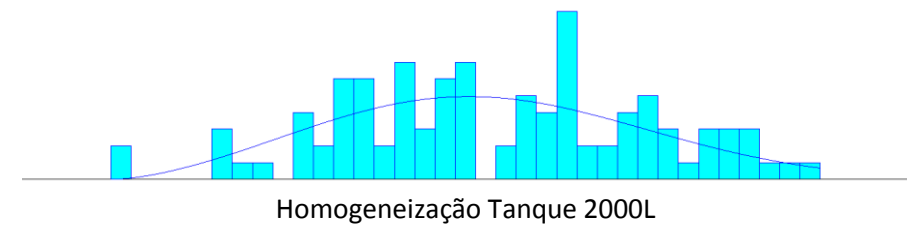
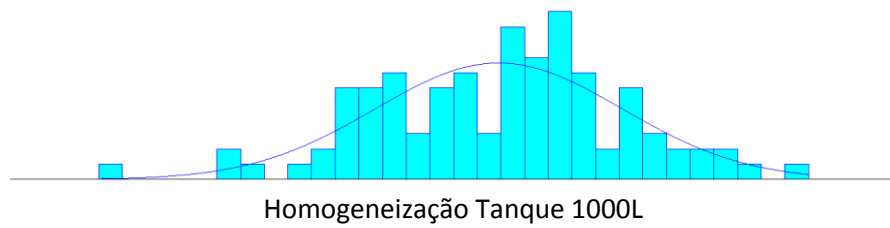


Figura 5 – Distribuição de frequências dos tempos dos subprocessos.

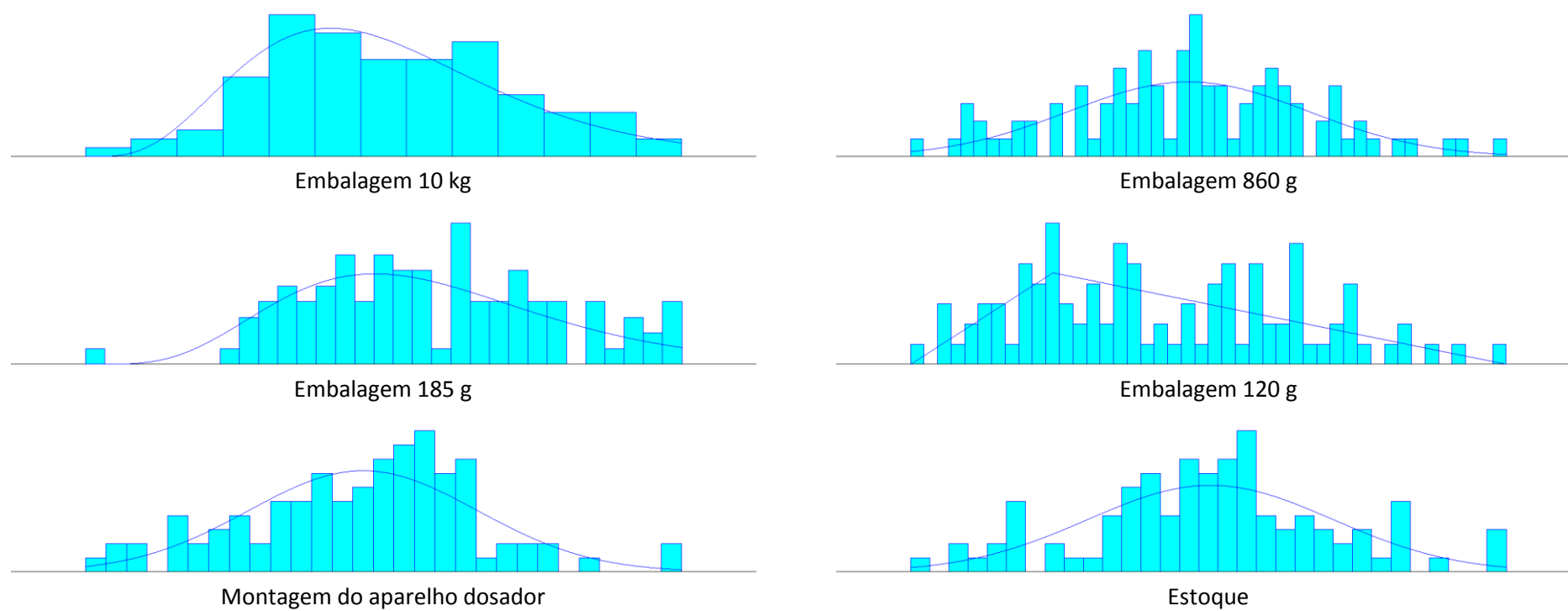


Figura 5 – Distribuição de frequências dos tempos dos subprocessos (continuação).

Quadro 4- Medidas de distribuição de probabilidades dos tempos dos subprocessos

Homogeneização				Pasteurização			
Tanque 1000L		Tanque 2000L		Tanque 1000L		Tanque 2000L	
Dist=	(NORM)	Dist=	Weibull (WEIB)	Dist=	Weibull (WEIB)	Dist=	Normal (NORM)
Expres=	NORM(41,4, 5,22)	Expres=	67,5 + WEIB(21,2, 2,62)	Expres=	13,5 + WEIB(12,7, 2,72)	Expres=	NORM(40,8, 5,42)
Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado
p - valor	0,607	p - valor	0,206	p - valor	0,596	p - valor	0,589
Sq	0,009	Sq	0,013	Sq	0,005	Sq	0,007
Fermentação				Resfriamento			
Tanque 1000L		Tanque 2000L		Tanque 1000L		Tanque 2000L	
Dist=	Beta (BETA)	Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Normal (NORM)
Expres=	435 + 69 * BETA(1,82, 1,62)	Expres=	NORM(413, 20)	Expres=	NORM(24,7, 4,75)	Expres=	NORM(43,3, 5,96)
Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado
p - valor	0,496	p - valor	0,75	p - valor	0,404	p - valor	0,488
Sq	0,015	Sq	0,02	Sq	0,004	Sq	0,005

Dist – distribuição; Expres – expressão; Sq – square error; NORM – Normal; WEIB – Weibull; BETA – Beta; ERLA – Erlang; TRIA – Triangular; GAMM – Gamma.

Quadro 4 - Medidas de distribuição de probabilidades dos tempos dos subprocessos (continuação)

Embalagem 860g		Embalagem 185g		Embalagem 120g		Embalagem 10Kg	
Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Erlang (ERLA)	Dist=	Triangular (TRIA)	Dist=	Gamma (GAMM)
Expres=	NORM(98,4, 9,45)	Expres=	19,5 + ERLA(3,01, 6)	Expres=	TRIA(90,5, 101, 135)	Expres=	1,5 + GAMM(1,3, 5,1)
Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado
p - valor	0,353	p - valor	0,191	p - valor	0,477	p - valor	0,156
Sq	0,008	Sq	0,008	Sq	0,009	Sq	0,004
Montagem do aparelho				Estoque			
Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Normal (NORM)	Dist=	Normal (NORM)
Expres=	NORM(34, 5,56)	Expres=	NORM(34, 5,56)	Expres=	NORM(43,1, 6,37)	Expres=	NORM(43,1, 6,37)
Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado	Teste	Chi-quadrado
p - valor	0,228	p - valor	0,228	p - valor	0,308	p - valor	0,308
Sq	0,007	Sq	0,007	Sq	0,010	Sq	0,010

Dist – distribuição; Expres – expressão; Sq – square error; NORM – Normal; WEIB – Weibull; BETA – Beta; ERLA – Erlang; TRIA – Triangular; GAMM – Gamma.

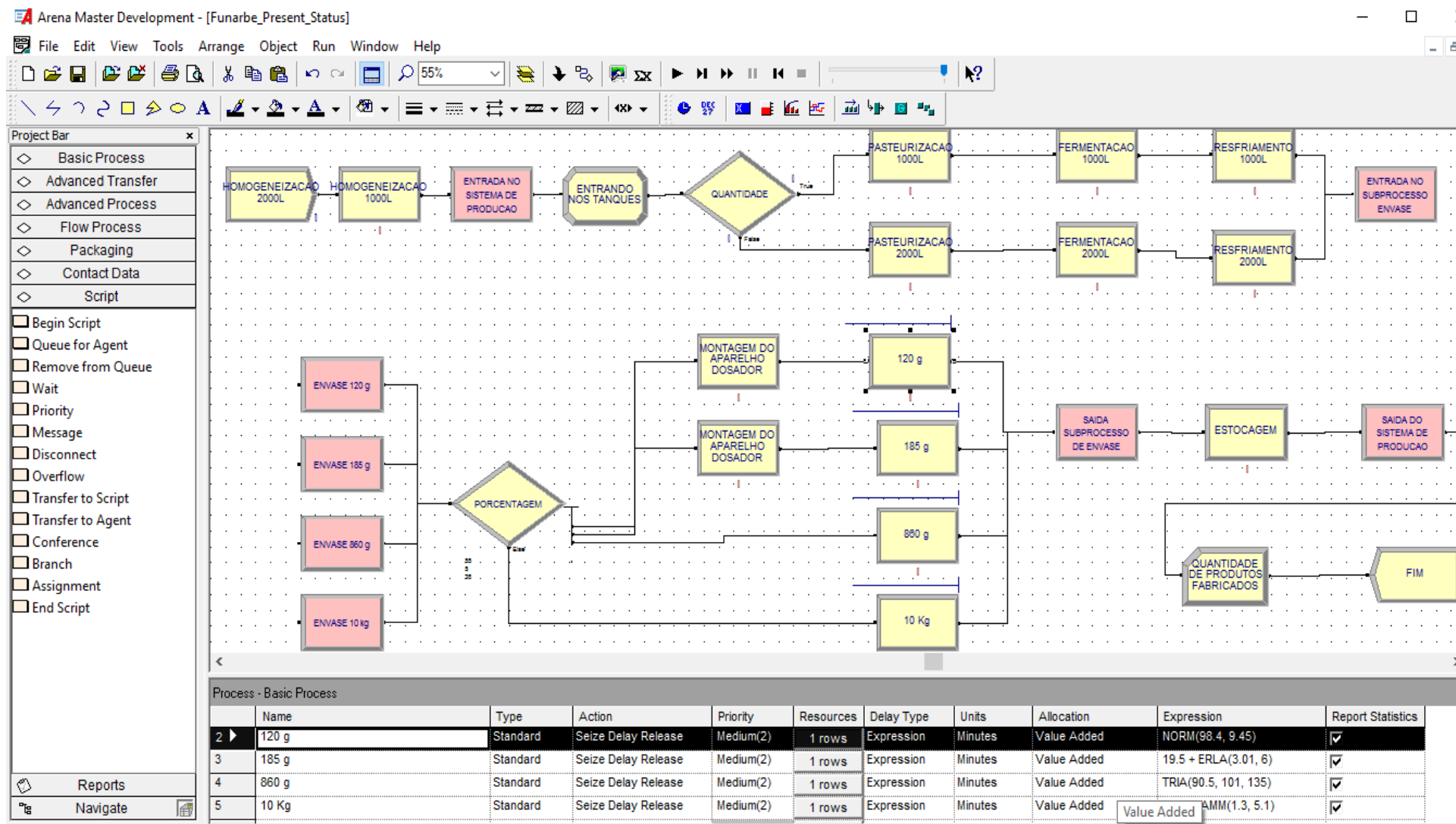


Figura 6 - Modelo de simulação do processo de produção de iogurte utilizando o software Arena.

4.4. VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

De acordo com a programação da produção atual temos a capacidade dos tanques de 3000 litros, que correspondem a quantidade de aproximadamente 8000 unidades de produtos para os diferentes tipos de embalagens. O modelo implementado representa o estado atual do sistema produtivo em questão. No Quadro 5 é apresentado a amostra piloto das quantidades de produtos simulados fabricados diariamente. A simulação do modelo foi replicada trinta vezes para que se possa ter uma representação mais fiel da realidade.

Quadro 5 - Quantidade simulada de unidades processadas diariamente dos produtos

Amostra piloto	
Replicação (n)	Quantidade de unidades de produtos fabricados diariamente
1	8080
2	7850
3	8342
4	8140
5	7680
6	8225
7	8433
8	7829
9	8377
10	8037
11	8068
12	8032
13	8145
14	8125
15	8022
16	8051
17	8069
18	7562
19	8066
20	8089
21	8070
22	8076
23	8063
24	8083

Quadro 5 - Quantidade simulada de unidades processadas diariamente dos produtos (continuação)

Amostra piloto	
Replicação (n)	Quantidade de unidades de produtos fabricados diariamente
25	8087
26	7690
27	8394
28	8097
29	7324
30	8121
Média Total	8041
Desvio Padrão	238

A medida que o valor da confiança aumenta, o valor de t tabelado também aumenta. Logo, o valor da precisão h também será maior, tornando o intervalo de confiança maior. O grupo optou por escolher uma confiança estatística de 95% (nível de significância de 5%), por esta ser utilizada de forma recorrente em estudos de estatística e por representar um índice de acerto considerável. A precisão obtida foi de 89 unidades em relação à média da quantidade de produtos simulados fabricados diariamente, Quadro 6.

Quadro 6 - Intervalo de confiança do modelo implementado

Número de replicações (n)	Significância, % (α)	Confiança % ($100-\alpha$)	t-Student	Precisão (h)	Intervalo de Confiança da média (IC)		
30	5	95%	2,045	89	7952	$< \bar{X} <$	8130

O valor da precisão obtida foi de aproximadamente 1,1% da média de produtos simulados fabricados diariamente. O valor da precisão obtida foi inferior a 10% da média de produtos simulados fabricados diariamente, mostrando que o modelo implementado obteve precisão ótima. Assim obtivemos o seguinte resultado:

- Produtos fabricados diariamente com 30 replicações: 8041;
- Produtos fabricados diariamente de acordo com os dados coletados: 8000;

- O erro relativo comparando os dados simulados e reais é baixo: 0,5%.

Os resultados obtidos no modelo indicam uma boa representatividade do processo atual do Laticínios *Funarbe*. A quantidade de produtos fabricados diariamente, encontrado pelo modelo implementado, estão de acordo com as quantidades de produtos utilizados na programação da produção diária da fábrica. Portanto, o modelo computacional do sistema produtivo do iogurte foi considerado como validado.

4.4 ANÁLISES DOS CENÁRIOS PARA TOMADA DE DECISÃO

Tendo em vista o modelo implementado, foram feitas alterações no processo simulado atual para obter melhoria no desempenho de fabricação de iogurte, e assim, alcançar a capacidade produtiva de 8000 litros de iogurte, aproximadamente 24000 unidades de produtos para os diferentes tipos de embalagens. Utilizou-se trinta replicações no modelo computacional para realizar os testes nos quatro cenários diferentes.

- Cenário 01: Adição de uma máquina exclusiva para o envase da embalagem com 860 g.

No Quadro 7, é mostrado o comparativo entre os parâmetros avaliados do modelo atual com o modelo do cenário 01, que envolveu a inclusão de uma unidade de envase para embalagens de 860 g. Os resultados observados entre o comparativo da embalagem de 120 g para o cenário 01 continuaria possivelmente com o mesmo tempo de operação (TS) da situação atual. Analisando os dados gerados pelo modelo do cenário 01 para as embalagens de 185 g e 860 g, percebe-se uma redução no tempo de operação (TS) para uma produção maior de produtos fabricados diariamente. No geral, o cenário 01 representaria um aumento de 3,98% no número de unidades produzidas diariamente, não correspondendo a demanda projetada.

Quadro 7 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 01

Embalagens	Unidades processadas simuladas para o cenário atual		Unidades processadas simuladas para o cenário 01	
	TS (min)	Q (unid)	TS (min)	Q (unid)
120 g	114,37	4989	115,4	5196
185 g	38,55	988	22,03	1029
860 g	99,17	2054	48,7	2140
10 kg	8,4	10	7,8	10
Total		8041		8375

TS – tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso para cada tipo de embalagem; Q – quantidade de produtos fabricados diariamente.

- Cenário 02: Substituição da máquina de envase de 120 g existente.

Nesse cenário foi analisada a substituição da máquina de envase atual por uma máquina de envase automática, que é confeccionada em aço-inox 304, e possui tecnologia de última geração com controladores programáveis nacionais (CLP) que proporcionam dosagens com precisão e alta produtividade. No Quadro 8, é mostrado o comparativo entre os parâmetros avaliados para a condição atual com o modelo do cenário 02. Os resultados mostram que os equipamentos para embalagens de 185 g e 860 g no cenário 02 continuaria com o mesmo tempo de operação (TS) do cenário simulado atual. Analisando os dados gerados pelo modelo do cenário 02 para a embalagem de 120 g, percebe-se uma redução no tempo de operação (TS) para uma produção maior de produtos fabricados diariamente. No geral, o cenário 02 representaria um aumento de 6,36% nas unidades processadas diariamente, não correspondendo a demanda projetada.

Quadro 8 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 02

Embalagens	Unidades processadas simuladas para o cenário atual		Unidades processadas simuladas para o cenário 02	
	TS (min)	Q (unid)	TS (min)	Q (unid)
120 g	114,37	4989	56,36	5329
185 g	38,55	988	33,7	1055
860 g	99,17	2054	97,1	2194
10 kg	8,4	10	8,5	10
Total		8041		8588

TS – tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso para cada tipo de embalagem; Q – quantidade de produtos fabricados diariamente.

- Cenário 03: Combinação dos cenários (01+02).

No cenário 03 foi realizada a combinação do cenário 01 com o cenário 02. No Quadro 9, é mostrado o comparativo entre os parâmetros avaliados para a condição atual com o modelo do cenário 03. Devido ao balanceamento da linha de produção do iogurte com adição de uma máquina exclusiva para o envase da embalagem com 860 g e substituição da máquina de envase de 120 g existente, observa-se que o tempo de operação (TS) para as embalagens 120 g, 185 g, 860 g e 10 kg apresentariam uma redução. No geral, o cenário 03 representaria um aumento de 15,07 % nas unidades processadas diariamente, não correspondendo a demanda projetada.

Quadro 9 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 03

	Unidades processadas simuladas para o cenário atual		Unidades processadas simuladas para o cenário 03	
Embalagens	TS (min)	Q (unid)	TS (min)	Q (unid)
120 g	114,37	4989	57,5	5741
185 g	38,55	988	20,3	1137
860 g	99,17	2054	46,02	2364
10 kg	8,4	10	7,8	11
Total		8041		9253

TS – tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso para cada tipo de embalagem; Q – quantidade de produtos fabricados diariamente.

- Cenário 04: Aquisição de dois tanques novos com capacidade de 5000 litros, um para fermentação e outro para o produto pronto, além das mudanças previstas pelo cenário 03.

Nesse cenário foi analisado a aquisição de dois tanques novos, para que haja um aumento da capacidade produtiva. No Quadro 10, é mostrado o comparativo entre os parâmetros avaliados para a situação atual com o modelo do cenário 04. Os resultados observados mostram que com adoção do cenário 04, o tempo de operação (TS) continuaria possivelmente com o mesmo tempo da condição atual, no entanto, a capacidade produtiva do cenário 04 seria três vezes maior do que a capacidade produtiva atual, correspondendo a demanda projetada.

Quadro 10 - Comparativo dos parâmetros avaliados para quantidade de unidades processadas e tempo de operação para o cenário 04

Embalagens	Unidades processadas simuladas para o cenário atual		Unidades processadas simuladas para o cenário 04	
	TS (min)	Q (unid)	TS (min)	Q (unid)
120 g	114,37	4989	98,25	15282
185 g	38,55	988	46,97	3027
860 g	99,17	2054	84,18	6294
10 kg	8,4	10	16,9	30
Total		8041		24633

TS – tempo do subprocesso montagem do aparelho dosador e tempo do subprocesso para cada tipo de embalagem; Q – quantidade de produtos fabricados diariamente.

- Análise comparativa dos cenários

De acordo com os resultados das simulações elaboradas, o cenário 01, 02 e 03 apresentariam um acréscimo na quantidade de produtos fabricados diariamente. Entretanto, teriam capacidade produtiva limitada de 3000 litros de iogurte, não alcançando a demanda projetada. O cenário 04, atenderia a demanda projetada. Com aumento de 5000 litros de iogurte, sem comprometer o tempo de operação de fabricação dos produtos. Assim, podemos confirmar que o cenário 04 representa a melhor opção.

- Mapeamento de processo proposto do setor produtivo de iogurte

O mapa do processo de produção proposto do cenário 04, Figura 7, inclui a aquisição de dois tanques novos, um para fermentação e outro para o produto pronto com capacidade de 5000 litros. Além disso, é adotada a automatização do dosador para adicionar a polpa de frutas. O subprocesso de envasamento desse cenário é representado pela Figura 8, que consistiu em uma adição de uma máquina exclusiva para o envase da embalagem com 860 g e substituição da máquina de envase de 120 g existente.

O mapeamento de processos do setor produtivo proposto, utilizou sete elementos da notação BPMN. Estes elementos tiveram 42 instâncias considerando o processo principal e o subprocesso de envasamento, conforme detalhado no Quadro 11. Por meio da análise BPMN, pode-se perceber que, a empresa irá reduzir suas instâncias dos elementos da notação em cerca de 10% quando implementar o que é

previsto no cenário 04. É importante salientar que quanto menor o número de instâncias, o fluxo produtivo tende a ser mais rápido.

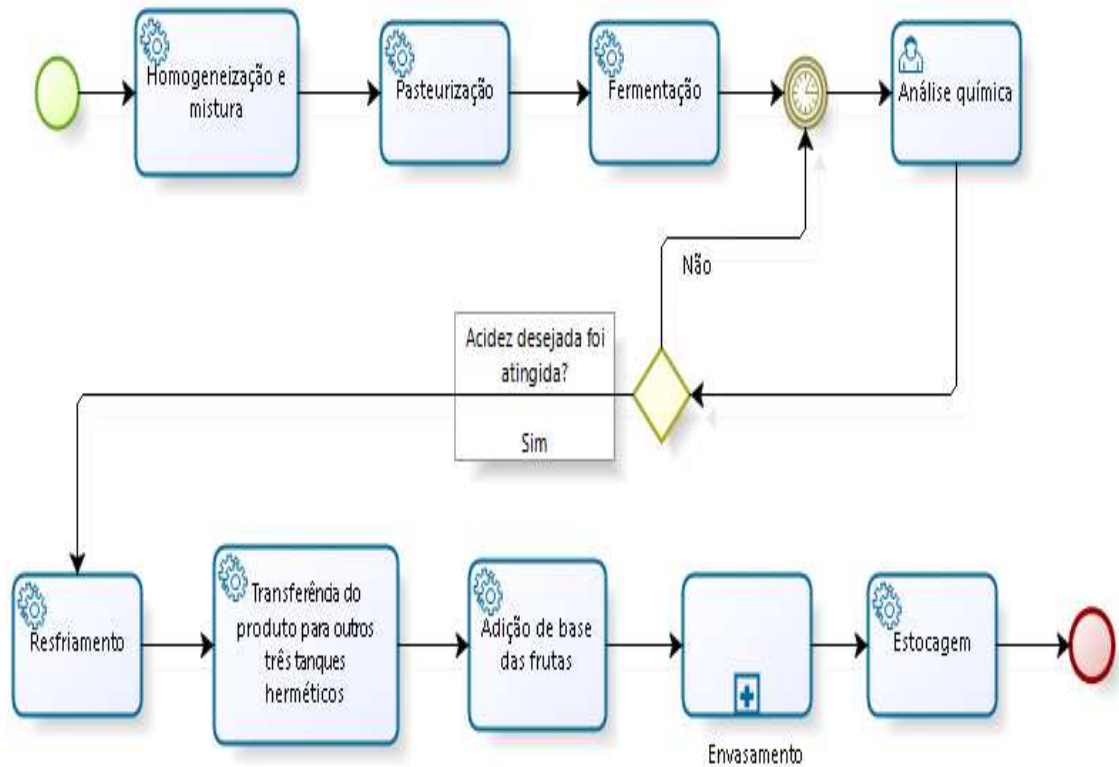


Figura 7 - Mapeamento de processos proposto para a produção de iogurte.

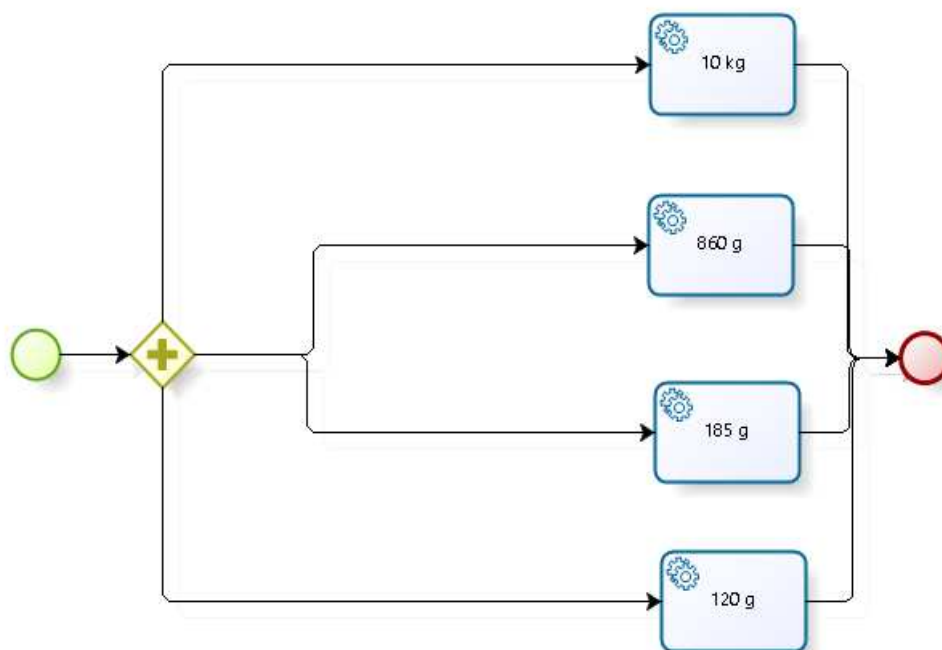


Figura 8 - Mapeamento de processos proposto do envasamento de iogurte.

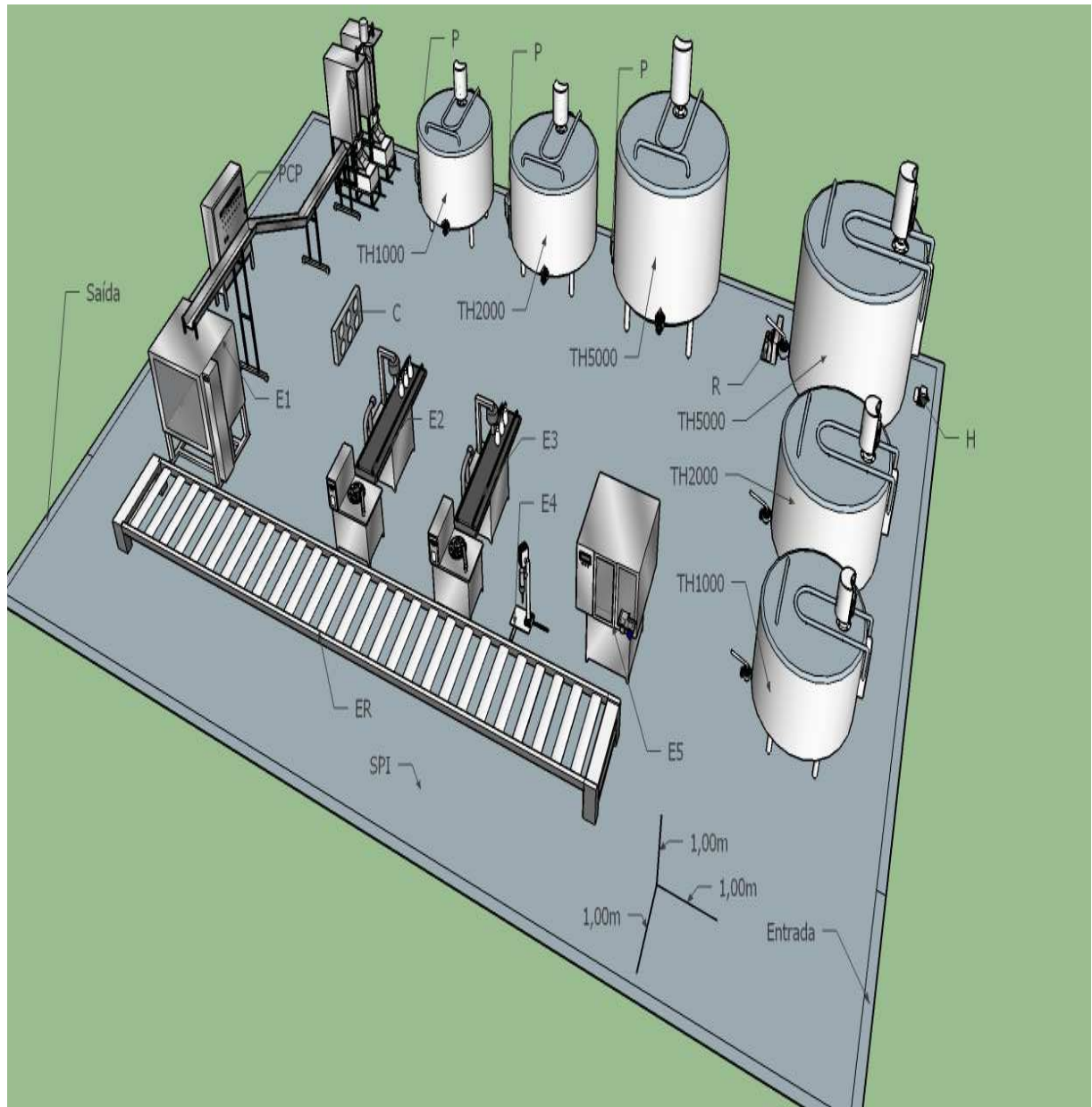
Quadro 11 - Elementos propostos BPMN

Elementos BPMN	PROCESSO PRINCIPAL	SUBPROCESSO	Total
Fluxos de sequência	13	9	
Tarefas	8	4	
Eventos de início	1	1	
Eventos Intermediário	1	-	
Eventos de término	1	1	
Gateways	1	1	
Subprocessos	1	-	
Total	26	16	42

- Novo leiaute do setor produtivo de iogurte

O novo leiaute foi elaborado de acordo com o cenário 4, no qual possibilita o crescimento do setor produtivo de iogurte. O novo diagrama de inter-relações preferenciais (DIP) pode ser considerado uma versão inicial do leiaute que foi estabelecido. Após algumas tentativas e modificações, o melhor diagrama de inter-relações preferenciais do setor produtivo de iogurte está representado pela Figura 9. O novo leiaute do setor produtivo de iogurte está representado pela Figura 10.

Figura 9 - Diagrama de Inter-relações Preferenciais do novo setor de produção de iogurte.



H – homogeneizador; TH2000 – tanque hermético de 2000 L; TH1000 – tanque hermético de 1000 L; TH5000 – tanque hermético de 5000 L; R – resfriador; P – dosador automático de polpa de frutas; E1 – envazador de 120 g; E2 – envazador de 860 g; E3 – envazador 185 g; E4 – envazador 10 kg; E5 – envazador 100 g; M – contador automático das unidades dos iogurtes; ER – esteira rolante; C – painel de tubulações; PCP – programação e controle da produção; SPI – setor produtivo do iogurte.

Figura 10 - Leiaute proposto para o sistema produtivo de iogurte.

5. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo principal a aplicação da modelagem e simulação computacional como ferramenta de apoio aos tomadores de decisão, propondo melhorias no sistema de produção de iogurte visando o aumento da capacidade produtiva do Laticínios *Funarbe*. Conclui-se que a utilização da modelagem por processos de negócio (BPMN) possibilitou representar os diferentes aspectos para descrição dos subprocessos do setor produtivo de iogurte, trazendo uma identificação das melhorias que o processo necessitou. Possibilitando visualizar o que estava funcionando, bem como, o que não estava funcionando corretamente no processo.

A modelagem e simulação computacional foi fundamental para à tomada de decisão acerca de modificações no Laticínios *Funarbe*. Por meio do modelo implementado, obtivemos um aumento da capacidade produtiva em 5000 litros de iogurte, em que corresponde uma produção de iogurtes processados diariamente três vezes maior do que a produção atual. Além disso, a proposição de um leiaute que atendesse as alterações no sistema de produção de iogurte. O leiaute proposto está sendo implementado na agroindústria para verificação e comprovação dessas análises. Logo, o estudo gerou materiais de referência sobre a utilização da modelagem e simulação computacional e da construção do leiaute que podem ser utilizados como base para a modelagem de outros setores na empresa analisada ou também como referência para outros estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA. **Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação**. Faturamento, 2015. <http://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2015.pdf>
- AGUILAR, E. R. et al. Evaluation of BPMN Models Quality - A Family of Experiments. **ENASE 2008**. Third International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering, p. 56-63, 2008. file:///C:/Users/Adolfo/Downloads/2008-ENASE-Rolon.pdf
- AHUMADA, O.; VILLALOBOS, J. R. **Application of planning models in the agri-food supply chain: a review**. European Journal of Operational Research, v. 195, n. 1, p. 1-20, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.014>
- ALMEIDA JÚNIOR, J. F. D.; DA SILVA, C. A. B. **Um sistema de apoio à decisão em planilha eletrônica para o planejamento da produção na indústria de laticínios**. Revista Brasileira de Agroinformática, v. 7, n. 2, p. 15, 2005.
- BALDAM, R. et al. **Gerenciamento de Processos de Negócios: BPM - Business Process Management**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2009.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BANKS, J. **Handbook of Simulation: Principles, methodology, advances, applications and practice**. 1ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- BURLTON, Roger. Effective Business Change Through Process Management: Strategies and Architectures for Integrated Change. **Process Renewal Group**, 2001. http://www.processrenewal.com/files/Overview_Article_about_BPM_.pdf
- CAMPOS, A. L. N. **Modelagem de Processos com BPMN**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.
- CARR, W. **Philosophy, methodology and action research**. Journal of Philosophy of Education, v. 40, n. 4, p. 421-435, 2006.
- CARVALHO, G. R. **O retrato do mercado nacional**. Revista Leite & Derivados, v. 19, n. 118, p. 22-28, 2010.
- CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook – a practical approach**. 1ª ed. Florida: CRC press, 2004.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações**. 3ª ed. São Paulo: Bravarte, 2010.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- CORRÊA, H. L. et al. **Planejamento, programação e controle de produção**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- CURY, A. **Organização e Métodos: uma visão holística**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- DAVENPORT, T. H. **Reengenharia de Processos: Como Inovar na Empresa Através da Tecnologia da Informação**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

- EBERT, D. C. et al. **Simulação da dinâmica operacional de um processo industrial de abate de aves**. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 29, n. 2, p. 305-309, 2009.
- FAO. **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. Milk production, 2010. <http://www.fao.org>
- FIGUEIREDO, V. F.; COSTA NETO, P. L. O. **Implantação do HACCP na indústria de alimentos**. Revista Gestão e Produção, v. 8, n. 1, p.100-111, 2001.
- HACHICHA, W. et al. **An improvement of a cellular manufacturing system design using simulation analysis**. International Journal of Simulation Modeling, v. 6, n. 4, p. 193-205, 2007. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00267826>
- HAMMER, M. **A Agenda: O que as empresas precisam fazer para dominar esta década**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- HAMMER, M.; CHAMPY, J. **Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution**. 1ª ed. New York: Harperbusiness, 1993.
- HARREL, C. R. et al. **Simulação: Otimizando os Sistemas**. 2ª ed. São Paulo: IMAM, 2002.
- HARRINGTON, H. J.; HARRINGTON J. S. **Gerenciamento Total da Melhoria Contínua**. 1ª ed. São Paulo: Makron Books, 1997.
- HUSSEIN, W. B. et al. **Computer Modelling and Simulation of Bakeries' Production Planning**. International Journal of Food Engineering, v. 5, n. 2, p. 8, 2009. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1565>
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e estatística**. Pesquisa Pecuária Municipal, 2015. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2015>
- JANK, M. S. et al. **O agrobusiness do leite no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Milkbuzz, 1999.
- KALPIC, B.; BERNUS, P. **Business process modeling in industry – the powerful tool in enterprise management**. Computers in Industry. Elsevier, v. 47, n. 3, p. 299-318, 2002.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- LOUZADA, C. C.; DUARTE, A. de C. M. **Gestão por processo: estudo de caso em uma empresa de Varejo de Colchões**. Revista Científica Eletrônica UNISEB, v.1, n.1, p.36-53, 2013.
- MAIA, G. B. S. et al. **Produção leiteira no Brasil**. BNDES Setorial, v. 2, n. 37, p. 371-398, 2013.
- MIRABELLI, G. et al. Modelling a traceability system for the agro-food industry: the case of frozen vegetables. **IEOM 2012**. Third International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, p. 1065–1074, 2012. <http://ieomsociety.org/ieom2012/pdfs/261.pdf>
- MUTHER, R.; WHEELER, J. D. **Planejamento simplificado de layout: sistema SLP**. 1ª ed. São Paulo: IMAM, 2000.
- PAIM, R. et al. **Gestão de processos: pensar, agir e aprender**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

- PERGHER I. et al. **Aplicação da simulação computacional para determinar a capacidade produtiva do processo de produção de pães: um estudo de caso.** Revista Produto & Produção, v. 14, n. 1, p. 22-39, 2013.
- PIDD, M. **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão.** 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- PIZZUTI, T.; MIRABELLI, G. **The Global Track&Trace system for food: General framework and functioning principles.** Journal of Food Engineering, v. 159, n. 3, p. 16-35, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.001>
- PONTES, H. L. J. et al. **SIMULINVE – um simulador de inventário para um centro de distribuição de peças.** Revista Produção Online, v. 8, n. 3, 2008. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v8i3.128>
- PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação: Série Pesquisa Operacional.** 2ª. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- RECKER, J. et al. **Business Process Modeling - A Comparative Analysis.** Journal of the Association for Information Systems, v. 10, n. 4 p. 333-363, 2009. <http://aisel.aisnet.org/jais/vol10/iss4/1>
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo.** 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços.** Revista Gestão & Produção, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.
- SHAFFER, S. M.; SMUNT, T. L. **Empirical simulation studies in operations management: context, trends and research opportunities.** Journal of Operations Management, v. 22, n. 4, p. 345-354, 2004.
- SLACK, N. et al. **Administração da Produção.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SOARES, J. P. M. et al. **A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de layout e otimização de recursos na manufatura celular: estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo.** Revista Produto & Produção, v. 12, n. 3, p. 49-68, 2011.
- STAHLBERG F. P. **Planejamento e controle da produção.** Gestão Agroindustrial. São Paulo: Atlas, v.1, p.263-345, 1997.
- TURBAN, E. et al. **Decision Support Systems and Intelligent Systems.** 7ª ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- WHITE, S. A.; DEREK M. **BPMN Modeling and Reference Guide – understand and using BPMN.** 1ª ed. Florida: Future Strategies, 2008.
- VÖLKNER, P.; WERNERS, B. **A simulation-based decision support system for business process planning.** Fuzzy Sets and Systems, v. 125, n. 3, p. 275-287, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(00\)00105-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(00)00105-6)
- ZUIN, L.F.S.; QUEIROZ, T.R. **Agronegócios: gestão e inovação.** 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2006.