

## APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO HÍBRIDA A EVENTOS DISCRETOS E CONTÍNUOS PARA ESTUDO DA VARIAÇÃO DA OFERTA DE LEITE EM UMA FÁBRICA DE LATICÍNIOS

**Gabriele Lacerda Santos**  
gabriele.lacerda@unifei.edu.br

**David Custódio de Sena**  
davidc.sena@gmail.com

**Elisa Maria Melo Silva**  
lizzbr@gmail.com.br

**Fabiano Leal**  
[fleal@unifei.edu.br](mailto:fleal@unifei.edu.br)

**Jose Antonio de Queiroz**  
[ja.queiroz@unifei.edu.br](mailto:ja.queiroz@unifei.edu.br)

UNFEI- Universidade Federal de Itajubá  
Avenida BPS, 1303, Bairro Pinheirinho. Itajubá - MG

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma aplicação da simulação híbrida a eventos discretos e contínuos de um processo de fabricação de queijos. O principal objetivo consistiu em avaliar o impacto da variação da oferta de leite no sistema produtivo. O trabalho abordou aspectos como o uso do IDEF-SIM para construção do modelo conceitual que em seguida, foi modelado computacionalmente no software Anylogic®. Ainda foi considerado o uso do IDEF3 como ferramenta adicional ao mapeamento conceitual, mostrando a transformação das entidades contínuas em discretas. Para análise do sistema, três fatores foram escolhidos como variáveis de entrada: oferta de leite, capacidade do equipamento de pasteurização e quantidade de tanques de coagular. Em cada fator foram considerados dois níveis gerando um total de oito cenários. Os cenários analisaram o impacto da variação do leite e foi possível estabelecer conclusões acerca do funcionamento do sistema.

**PALAVRAS CHAVE.** Simulação híbrida, Simulação a Eventos Discretos, Simulação a Eventos Contínuos.

**Área principal:** Simulação

### ABSTRACT

This paper presents an application of hybrid simulation with discrete and continuous events of a cheese-making process. The main objective was to assess the impact of the change in milk supply in the productive system. The work addressed aspects such as IDEF-SIM use to build the conceptual model that was then modeled computationally in Anylogic® software. And also was considered the use of IDEF3 as an additional tool to the conceptual mapping, showing the transformation of continuous to discrete entities. For system analysis, three factors were chosen as input variables: milk supply, the pasteurization equipment capacity and number of tanks to clot. In each factor were considered two levels generating a total of eight scenarios. The scenarios analyzed the impact of milk variation and it was possible to draw conclusions about the system's operation.

**KEYWORDS:** Hybrid Simulation. Discrete Event Simulation. Continuous Event Simulation.

**Main area:** Simulation

## 1. Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de leite do mundo e o Estado de Minas Gerais é líder absoluto, correspondendo a 27,4% da produção nacional (ABIQ, 2014). O processo tecnológico de fabricação de queijos consiste basicamente em transformar o leite fluido em uma massa sólida através da aglomeração das proteínas, gorduras e cálcio presentes na matéria prima, por meio de uma reação química enzimática (FURTADO, MAGALHÃES NETO 1994). Por envolver mudança de estado na natureza dos produtos, seu processo migra entre operações contínuas e discretas, apresentando-se hora através de fluxos nas etapas de pre-tratamento do leite, hora em bateladas em etapas intermediárias e finalmente tratados de forma discreta nas etapas finais de fabricação.

Atualmente existem diversos estudos e instituições voltadas ao desenvolvimento tecnológico e científico do setor de laticínios, porém, pouca atenção foi dada aos processos de gestão da produção na área. Em contra partida, alguns autores como Abdulmalek e Radgopal (2008) vêm demonstrando estudos abrangendo aspectos de simulação de processos contínuos ou híbridos, como Loureiro (2009); Lane (2000); Broulsfor e Hilton (2000); Mayo (2005); Marecroft e Robinson (2005) para resolução de problemas em áreas de manufatura ou serviços.

O trabalho apresentou uma aplicação da simulação híbrida a eventos discretos e contínuos de um processo de fabricação de queijos. O principal objetivo consistiu em avaliar o impacto da variação da oferta de leite no sistema produtivo. O trabalho aborda aspectos como o uso do IDEF-SIM para construção do modelo conceitual e o uso do software Anylogic® para o modelo computacional. Ainda foi considerado o uso do IDEF3 como ferramenta adicional ao mapeamento conceitual, mostrando a transformação das entidades contínuas em discretas.

Para análise do modelo, três fatores foram escolhidos como variáveis de entrada: oferta de leite, capacidade do equipamento de pasteurização e quantidade de tanques de coagular. Em cada fator foram considerados dois níveis gerando um total de oito cenários, que analisaram o impacto da variação do leite no sistema.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 mostra a revisão bibliográfica do tema envolvidos no contexto do trabalho, sendo a simulação computacional o foco deste; a seção 3 traz a metodologia de pesquisa utilizada; a seção 4 relata o desenvolvimento da simulação híbrida a eventos discretos e sistemas dinâmicos e finalmente a seção 5 apresenta as principais conclusões do trabalho.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Simulação a eventos discretos e contínuos

De acordo com Bateman *et al* (2013) a simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Segundo Chwif e Medina (2006), os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido, principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias). O modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno. O modelo de simulação é utilizado, particularmente, como uma ferramenta para se obter respostas a sentenças do tipo: “o que ocorreria se...”. Já para Kleijnen (1995), a visão completa do processo de modelagem e simulação envolve arte e ciência.

A simulação computacional, segundo Chwif e Medina (2006), pode ainda ser classificada em três categorias: simulação a Monte Carlo, simulação contínua e simulação a eventos discretos (SED). A simulação A Monte Carlo utiliza geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, aos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. Já simulação contínua e simulação a eventos discretos levam em consideração a mudança do estado do sistema ao longo do tempo. Para Bateman *et al* (2013) a simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, uma ação que não cessa. A simulação a eventos discretos (SED) é uma ação instantânea que ocorre em um único momento,

ou seja, é orientada por eventos: o relógio de simulação sempre indica um instante em que o evento acontece. Para Chwif e Medina (2006), em alguns casos pode ser necessário construir um modelo de simulação que compreenda simultaneamente aspectos da simulação contínua e discreta, e nestes casos, a simulação é denominada simulação combinada ou híbrida. Finalmente, para Djanatliev e Gernan (2013), a simulação híbrida é uma combinação de eventos discretos com sistemas contínuos que agem em conjunto para resolver uma função que não pode ser solucionada com um destes sistemas individualmente.

Outros pesquisadores abordam ainda mais as diferenças entre a SED e simulação contínua, cujo termo é equivalente a sistemas dinâmicos (SD) segundo Lourenci (2009). Em um SD as variáveis do estado do modelo são alteradas conforme o tempo evolui, sendo útil na avaliação de processos industriais como linhas de montagens de carros ou operações de serviços. Para Harrel *et al* (1996) a simulação contínua permite que as variáveis do modelo se alteram ao longo do tempo com taxas de mudanças definidas e relacionadas ao relógio de simulação. Já para Mayo (2003) outra diferença entre os dois métodos está no emprego dos dados, a SED é dependente de uma base de dados abrangente e detalhada, já o SD utiliza a base de dados para iniciar a simulação, verificar e validar o modelo computacional. Após este início da simulação computacional as equações do sistema passam a controlar as operações.

Loureiro (2009) acrescenta diferenças entre os dois modelos quanto a abrangência e o nível de detalhamento. Para o autor, o SD é utilizado para representar sistemas com uma faixa de abrangência maior e um nível de detalhamento menor, enquanto a SED representa sistemas cuja abrangência é menor e existe possibilidade de se detalhar mais as operações envolvidas. Finalmente, Balaban, Hester e Diallo (2014) apresentam uma teoria de multe métodos que discute a utilização combinada de métodos de simulação para resolução de problemas. Morecroft e Robinson (2005) apresentam no Quadro 1 as diferenças entre os métodos SED e SD. Já o Quadro 2 apresenta um comparativo entre a SED e SD proposto Brailsford e Hilton (2000).

Quadro 1: Diferenças entre a SED e a SD

	<b>SED</b>	<b>SD</b>
Escopo	Operacional, tático	Estratégico
Importância da variabilidade	Alta	Baixo
Importância das ações individuais	Alta	Baixa
Número de entidades	Pequeno	Grande
Controle	Ações	Taxas
Escala de tempo	Curto	Longo
Propósito	Decisões: otimização, predição e comparação	Políticas: "entender o sistema"

Fonte: Morecroft e Robinson (2005)

Quadro 2: Comparativo entre a SED e SD

<b>Simulação - Eventos Discretos</b>	<b>Dinâmica de Sistemas</b>
Sistemas (como a saúde) podem ser vistos como redes de filas e atividades	Sistemas (como a saúde) podem ser vistos como uma série de estoques e fluxos
Objetos no sistema são distintos individualmente (com os pacientes no hospital), cada característica determina o que acontece para o indivíduo	<i>Entities</i> (entidades) são tratados como uma quantidade contínua, um fluido, seguido por reservatórios ou tanques conectados por canos (taxas)
A duração das atividades é mostrada por cada indivíduo através de distribuições de probabilidades e o modelador tem uma flexibilidade quase ilimitada na escolha dessas funções e podem facilmente especificar tempos de permanência não exponenciais	O tempo gasto em cada reservatório é modelado como um atraso com flexibilidade limitada para especificar o tempo de permanência além do exponencial
Mudanças de estado ocorrem em pontos discretos de tempo	Estados de mudanças são contínuos
Modelos são por definição estocásticos	Modelos são determinísticos
Modelos são simulados em espaços de tempo desiguais, quando "algo acontece"	Modelos são simulados em espaços de tempo de igual duração e são finamente definidos

Fonte: Brailsford e Hilton (2000)

Alguns autores apresentam uma sequência de passos para o projeto de SED, contrariando uma falsa ideia de que a simulação consiste apenas na programação computacional de um modelo. Montevechi *et al.* (2010) propõe a SED dividida em etapas: concepção, no qual é desenvolvido o modelo conceitual, implementação, gerando o modelo computacional, e análise, no qual se obtém o modelo operacional.

A modelagem conceitual corresponde a uma fase da SED, como mostram Chwif e Medina (2006); Law e Kelton (2000). Buscando um melhor aproveitamento do modelo conceitual, trabalhos como Leal (2008), Montevechi *et al.* (2010) e Salgado *et al.* (2014) apresentam uma técnica de modelagem conceitual com foco na lógica da simulação, chamada de IDEF-SIM (*integrated definition methods-Simulation*). Este nome se deve ao fato da técnica ser uma adaptação da simbologia do IDEF com novos elementos, buscando uma representação conceitual mais próxima da lógica da simulação, compreendendo a modelagem com foco no processo. No entanto, outros autores como Chwif e Medina (2006) e Loureiro (2009) propõem a modelagem conceitual com foco nas interações dos objetos e nesse aspecto, pode-se destacar a modelagem ACD (*Activity Cycle Diagram*), ou na transição do estado dos objetos através do IDEF3 (MAYER, 1995).

Para Sargent (2010), além da construção do modelo conceitual, é necessário a validação, que consiste na determinação de que as teorias e hipóteses subjacentes ao modelo estão corretas. O autor apresenta algumas técnicas de validação do modelo conceitual, sendo a validação face a face uma delas, ao qual o modelo é apresentado a indivíduos com conhecimento sobre o sistema e indagados sobre o modelo e seu comportamento comparados com o sistema real.

Para finalizar a etapa de concepção, são necessárias a modelagem e a validação dos dados de entrada. Para Leal (2008), a modelagem dos dados de entrada serve para obter modelos probabilísticos que permitam inferir as propriedades de um dado fenômeno aleatório. Segundo Chwif e Medina (2006), os dados de entrada possuem três finalidades: construção e validação do modelo conceitual, e realização de experimentos com modelos válidos. Os autores ainda afirmam que o estudo dos dados resume-se em três partes: coleta, tratamento e inferência aos dados.

Na sequência proposta por Montevechi *et al.* (2010), a implementação corresponde à criação do modelo computacional, que poderá ser através de uma linguagem de programação, uma linguagem de simulação ou um simulador (CHWIF e MEDINA, 2006). Para Loureiro (2009), existem uma gama de softwares disponíveis para simulação e que é necessária uma pesquisa sobre as plataformas e adequação ao modelo pretendido. O autor ainda apresenta o software *Anylogic*® como apropriado a simulações contínuas por possuir foco em objeto para a construção do modelo computacional.

O modelo computacional precisa ser verificado conforme Bateman *et al.* (2013), Sargent (2010) e Montevechi *et al.* (2010), de forma a verificar se a implementação do modelo conceitual está correta, na qual Bateman *et al.* (2013) afirmam ser o processo que assegura que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido.

A última fase da simulação compreende à fase analítica. Para Sanches (2006), Chwif e Medina (2006) após a verificação e validação, o modelo torna-se operacional, estando pronto para ser utilizado. Para Leal (2008) a forma de se explorar o modelo é a partir de um projeto experimental, neste sentido, Kelton (1998) reforma que o planejamento de experimentos simulados é de grande ajuda, reduzindo tempo e esforços através do fornecimento de caminhos eficientes para estimar os efeitos das mudanças dos inputs do modelo sobre os outputs do modelo.

### **3. Classificação da Pesquisa**

O método de pesquisa aplicada neste trabalho foi a modelagem e simulação e, especificamente, foi realizada uma simulação híbrida a eventos discretos e contínuos conforme o diagrama proposto por Montevechi *et al.* (2010). Segundo autor, o método se divide em três fases, e cada uma delas é caracterizada por uma etapa de modelagem: fase de concepção (modelo



conceitual), fase de implementação (modelo computacional) e a fase de análise (modelo operacional).

Na fase da concepção, foi definido o objetivo da simulação como sendo o uso da simulação híbrida a eventos discretos e contínuos para avaliar o impacto da variação da oferta de leite sobre o sistema produtivo em uma fábrica de laticínios. A construção do modelo conceitual foi a partir do IDEF-SIM com foco no processo e do IDEF3 que explicitou a mudança das variáveis ao longo da simulação. Os dados de entrada foram coletados, tratados estatisticamente e inferidos tornando-se dados probabilísticos.

Na fase de implementação, o modelo computacional foi desenvolvido no software *Anylogic*®. Este foi verificado com auxílio de contadores e variáveis, e validado a partir de dados reais da empresa. O modelo foi rodado ao longo de 25 dias de fabricação com cinco réplicas, desconsiderando os cinco primeiros dias de aquecimento.

Na fase de análise, foram selecionados três fatores: oferta de leite, capacidade do pasteurizador e quantidade de tanques de coagulação. Cada fator sendo variado em dois níveis, foi possível executar oito cenários com o modelo operacional. Esses são descritos a seguir:

- Cenário 1: oferta de leite alta, capacidade de pasteurização baixa e 1 tanque de coagulação;
- Cenário 2: oferta de leite alta, capacidade de pasteurização baixa e 2 tanques de coagulação;
- Cenário 3: oferta de leite alta, capacidade de pasteurização alta e 1 tanque de coagulação;
- Cenário 4: oferta de leite alta, capacidade de pasteurização alta e 2 tanques de coagulação;
- Cenário 5: oferta de leite baixa, capacidade de pasteurização baixa e 1 tanque de coagulação;
- Cenário 6: oferta de leite baixa, capacidade de pasteurização baixa e 2 tanques de coagulação;
- Cenário 7: oferta de leite baixa, capacidade de pasteurização alta e 1 tanque de coagulação;
- Cenário 8: oferta de leite baixa, capacidade de pasteurização alta e 2 tanques de coagulação;

A fase de análise mediu a quantidade de peças de queijo produzidas em cada cenário proposto. Finalmente, foram feitas considerações acerca do uso do IDEF-SIM como auxílio à simulação computacional desenvolvida no software *Anylogic*®, o uso desse software para modelagem computacional de um processo de fabricação de laticínios e o uso do IEF3 com foco em objeto auxiliando à modelagem conceitual.

#### **4. Aplicação da Modelagem e Simulação**

A modelagem e simulação será conduzida em três etapas, sendo elas: conceitual, operacional e analítica.

##### **4.1 Concepção da modelagem e simulação**

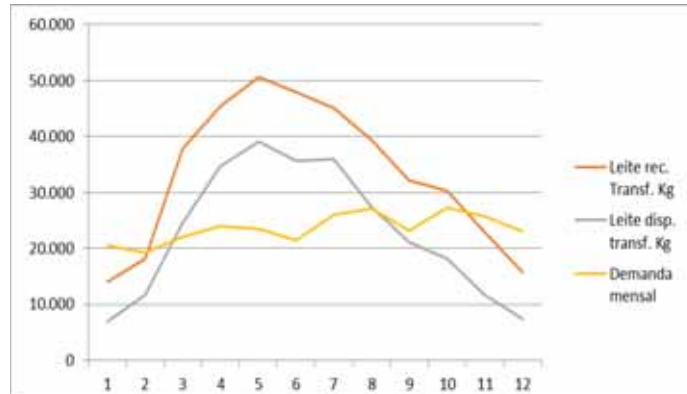
###### **4.1.1 Objetivos e definição do sistema**

O presente trabalho aborda o uso da simulação híbrida a eventos discretos e sistemas dinâmicos em uma fábrica de laticínios, que trabalha com leite de búfala, denominada para efeito deste trabalho como *Bufalen*. A família de produtos escolhida para análise compreende os queijos mussarela barra de 4kg, barra de 0,8kg, barra de 0,5kg, rolo de 0,5kg, bola de 10g e bola de 50g (ambas embaladas em pacotes com 250g). O objetivo da simulação consiste em avaliar o impacto da variação da oferta de leite no sistema produtivo.

A variação da oferta de leite ocorre em função do ciclo reprodutivo da búfala, que ocorre anualmente, mais especificamente entre os meses de dezembro a fevereiro, período em

que o animal inicia o ciclo de parição. O Gráfico 1 apresenta a variação da oferta de leite comparando com a demanda de produtos para a família em estudo. O eixo x compreende os meses ao longo do ano de 2013 e o eixo y corresponde ao volume de leite em litros.

Gráfico 1: Comparação anual entre oferta de leite e demanda de produtos



A linha em vermelho compreende a variação da oferta de leite ao longo do ano de 2013. A linha em cinza mostra o leite disponível para a família de produtos estudada ao longo do ano de 2013 e a linha em laranja, representa a variação da demanda ao longo do mesmo ano. Em resumo, a oferta de leite fica abaixo da demanda nos meses de janeiro, fevereiro e março (pontos 1, 2 e 3 do eixo x) e voltam a cair em setembro, outubro, novembro e dezembro (pontos 9, 10, 11 e 12 do eixo x). Ou seja, pode-se visualizar sete meses com oferta de leite abaixo da demanda e cinco meses acima da demanda, com pico de oferta em maio e vale em janeiro”.

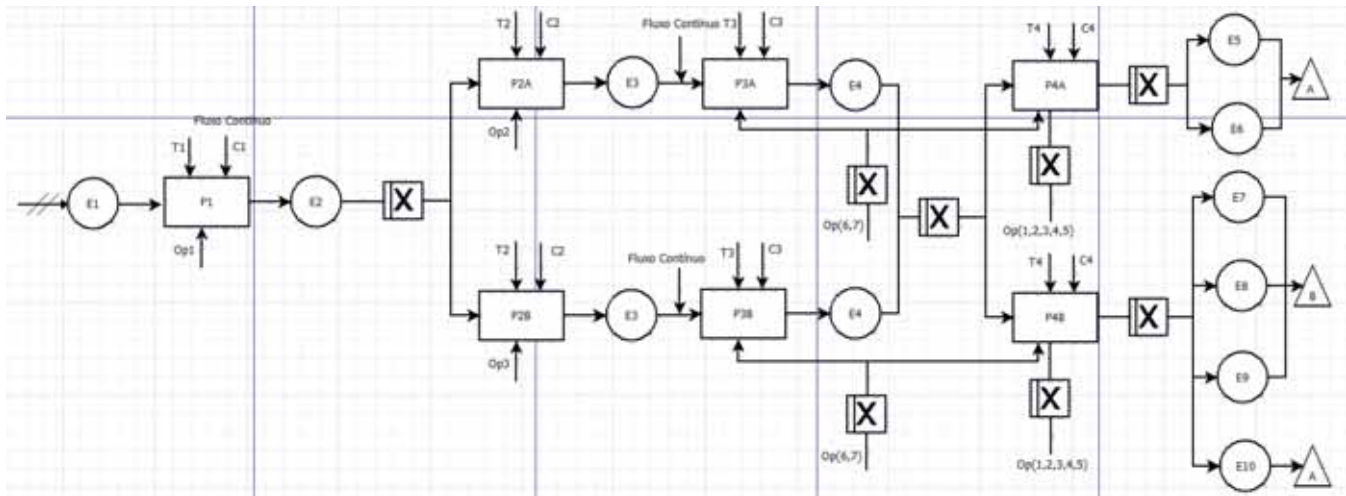
#### 4.1.2 Construção do modelo conceitual

O modelo conceitual foi desenvolvido utilizando a técnica IDEF-SIM conforme (LEAL, ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008) e a técnica IDEF3 (MAYER, 1995). O IDEF-SIM foi desenvolvido utilizando-se o software DIA e o IDEF3 utilizando-se o software Visio®. Essas modelagens podem ser vistas nas figuras 1 e 2. A Tabela 1 resume as informações do modelo conceitual.

O processo de fabricação do queijo consiste em dar entrada no sistema com a entidade leite cru a partir do processo de pasteurização, que libera a entidade leite pasteurizado. A pasteurização ocorre em fluxo contínuo a uma taxa de transferência, alimentando os tanques de coagulação. No tanque de coagulação, após um determinado período, a entidade é transformada em massa de queijo, que segue para o processo de fermentação. Tanto a coagulação quanto a fermentação são em bateladas e a ligação entre os dois processos ocorre em fluxo contínuo. Após a fermentação, a entidade torna-se massa fermentada, que segue para o processo de filagem gerando as entidades discretas: barra de 4kg, 0,8kg, 0,5kg, rolo de 0,5kg e bolas de 10 e 50g.

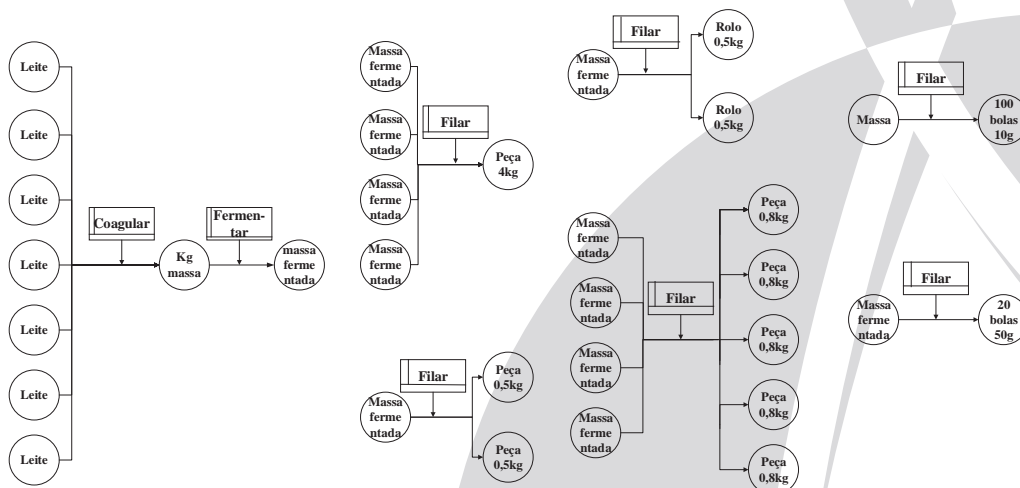
Em seguida, as entidades vão para a enformagem (o rolo e bolas não passam por esse processo) e resfriamento em câmara fria até o dia seguinte. No dia seguinte, as entidades são enviadas para tanques de salga e após esse processo, seguem para a secagem que ocorre em câmara fria. Os três últimos processos (resfriamento, salga e secagem) ocorrem em batelada. Finalmente, são embaladas e seladas de forma discreta.

Figura 1 – Fragmento do modelo conceitual IDEF-SIM *Bufalen*



As entidades são representadas pelos círculos e os locais pelos retângulos. As setas acima dos retângulos correspondem aos controles contendo informações sobre tempo de processo e capacidade dos locais. As setas abaixo dos retângulos correspondem aos recursos utilizados. Foram utilizadas lógicas OU e E para descrever os caminhos das entidades, bem como a escolha de recursos.

Figura 2: Modelo conceitual IDEF-3 *Bufalen*



O IDEF3 mostra a transformação das entidades ao longo do processo. A chegada das entidades pode ser denotada conforme distribuição de probabilidade  $N(11957, 485)$ , aos quais, a média é 11957 e o desvio padrão de 485 litros de leite. Após o evento e pasteurização, a entidade se transforma em leite pasteurizado, porém, não sofre alteração em termos de quantidade e unidade. A partir da coagulação, a entidade se transforma em kg de massa a partir de 7 entidades de leite pasteurizado. A massa se torna massa fermentada após a fermentação, mantendo a unidade e quantidade. A entidade kg de massa fermentada dá origem aos diversos produtos (barras, bolas e rolo) a partir do processo filagem. Para 1 unidade de barra de 4kg são necessárias 4 entidades kg de massa fermentada. Para barra de 0,8 é preciso de 4 massas fermentadas originando 6 unidades do produto. Para a barra 0,5kg e o rolo, 1 entidade kg de massa fermentada gera 1 entidade para cada um desses produtos. Para a bola de 10g, 1 entidade kg de massa fermentada formam 100 entidades e para bola de 50g, 1 entidade gera 50 bolas.

#### 4.1.3. Validação do modelo conceitual

A validação foi realizada através da técnica face a face, a qual foi apresentado o modelo conceitual a especialistas do processo, que são pessoas da empresa diretamente relacionadas ao

sistema. Desta forma, uma vez que se verificou que o sistema está representado corretamente, o modelo conceitual foi considerado validado.

#### 4.1.4. Modelagem dos dados de entrada

Os dados do processo foram coletados, tratados quanto a média, desvio padrão e erro absoluto. Com auxílio o software Minitab®, foi realizado um teste de normalidade nos dados coletados. A Tabela 2 que contém as informações sobre os dados do sistema.

Tabela 1: Resumo tempo dos processos

Processos							
<u>Código Processo</u>	<u>Nome</u>	<u>Código Proc.</u>	<u>Característica</u>	<u>Capacidade /taxa</u>	<u>Código</u>	<u>Tempo (segundos)</u>	<u>Entidade</u>
P1	Pasteurizar	C1	Fluxo contínuo	7.000 L/h	T1	T(2100, 1500, 1200)	E1
P2	Coagular	C2	Batelada	3.500 litros	T2	T(4200, 3720, 3320)	E2
P3A e P3B	Fermentar	C3	Batelada	3.500 litros	T3	T(15300, 15000, 14400)	E3
P4A	Filar bola	C4	Fluxo contínuo	600 kg/h	T4	N(1;0,4)	E5
						N(4;0,9)	E6
						N(19;1,4)	E7
P4B	Filar peças					N(3;0,3)	E8
						N(2;0,4)	E9
						N(3;0,6)	E10
P5	Enformar	C5	Discreto	Processo manual	T5	N(5;0,9)	E7
						N(1;0,4)	E8
						N(1;0,4)	E9
P6	Resfriar	C6	Batelada	Cap.: 3.000 kg/dia	T6	T(78000, 64800, 57600)	E5
						T(69600, 65160, 64800)	E6
						T(90000, 68400, 64800)	E7
						T(9000, 8400, 7200)	E8
						T(64200, 60000, 54000)	E9
						T(73800, 72000, 64800)	E10
P7	Salgar	C7	Batelada	1120kg/batela da (cada batelada depende do tempo)	T7	T(19800, 19200, 18000)	E5
						900	E6
						900	E7
						840	E8
						1200	E9
						2300	E10
P8	Secar	C8	Batelada	2100kg/dia	T8	T(79200, 77700, 76200)	E5
						T(77760, 77400, 75600)	E6
						T(2400, 1800, 1320)	E7
						T(30960, 29100, 21600)	E8
						T(72000, 70950, 66240)	E9
						T(100800, 92700, 86400)	E10
P9	Embalar	C9	Discreto	Processo manual	T9	N(16,3)	E5
						N(13,2,4)	E6
						N(5,1,7)	E7
						N(15,2,7)	E8
						N(5,0,9)	E9
						N(28,5,3)	E10



Continuação da Tabela 1: Resumo tempo dos processos

<u>Código</u> <u>Processo</u>	<u>Nome</u>	<u>Código</u> <u>Proc.</u>	<u>Característica</u>	<u>Capacidade</u> <u>/taxa</u>	<u>Código</u>	<u>Tempo (segundos)</u>	<u>Entidade</u>
P10	Selar/Encaixotar	C10	Discreto	4 peças/ciclo	T10	N(76,14)	E5
				6 peças/ciclo		N(37,3,4)	E6
				8 peças/ciclo		N(58,9,9)	E7
				8 peças/ciclo		N(41,5,1)	E8
				8 peças/ciclo		N(52,7,2)	E9
				6 peças/ciclo		N(52,6,3)	E10

Os processos que ocorrem de forma discreta, tais como filagem, enformagem, embalagem e selagem, foram considerados em sua forma probabilística representados pela distribuição Normal, segundo teste de Anderson Darlin. Já os processos de natureza contínua correspondente à: pasteurização, coagulação, fermentação, resfriamento, salga e secagem foram representados pela distribuição de probabilidade Triangular. Nesses casos, o tempo de processamento longo não permitiu uma coleta maior de dados conforme executada nos processos discretos.

Na coluna tempo, a unidade consta em segundos e os dados seguem distribuições de probabilidade. Estas foram descritas como Normal e Triangular. A distribuição normal é descrita com média e desvio padrão nesta ordem. Já triangular é descrita com valor mínimo, moda e valor máximo.

## 4.2. Implementação da modelagem e simulação

### 4.2.1. Construção do modelo computacional

O modelo computacional foi construído no software Anylogic ® e sua descrição considera os seguintes aspectos:

**Locais:** A pasteurização foi representada por um ícone denominado *Flow*, e para executá-la, houve a necessidade da inserção de um local com característica de *Stock* anterior a ela. Os locais coagular e fermentar foram representados por comandos do tipo *Stock*, porém, para caracterizar o tratamento das entidades nesses locais, foi preciso programar ações discretas, mesmo sendo o local de natureza contínua. Foram utilizados comandos como *Source*, que gera uma entidade quando o fluxo da pasteurização atinge a capacidade do tanque, e *Delay*, para representar o tempo de processamento das entidades. Os demais locais (filar, enformar, resfriar, salgar, secar, embalar e selar) obtiveram como elemento de representação o *Service*.

**Entidades:** se dividem em contínuas e discretas. As contínuas são: leite cru, pasteurizado, massa e massa fermentada. As entidades discretas são: bola 10g, bola 50g, barra 4kg, barra 0,8kg, barra 0,5kg e rolo. A transformação das entidades contínuas em discretas ocorreu a partir da função *Inject* do módulo *Source* que recebe como argumento a quantidade de entidades a ser criada.

**Variáveis:** se dividem em duas: do tipo *Inteira* e *Real*. As do tipo inteira foram utilizadas para quantificar os dias simulados, os dias disponíveis de leite, e a capacidade dos processos salga e secagem. As do tipo real mediram a quantidade de produtos gerados pelo modelo.

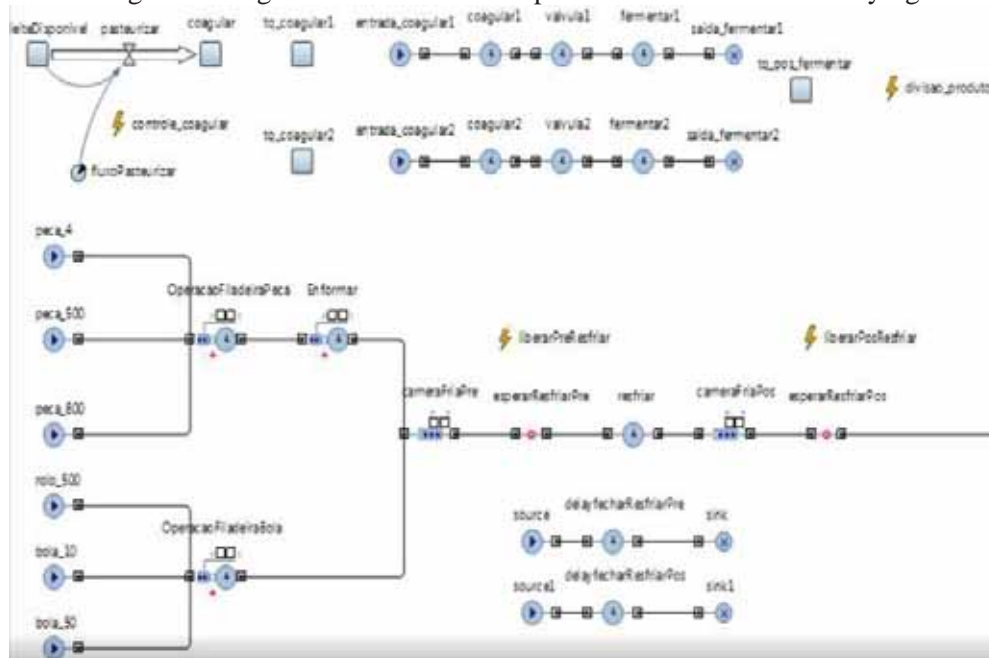
**Funções:** foram utilizadas funções que retornam valores disponíveis de leite em períodos de alta e baixa oferta, e funções para execução dos tempos de processamento representados pela distribuição Triangular e Normal, dentro do módulo *Service*.

**Eventos independentes:** criados na lógica de simulação para representar ações como chegadas programadas de leite no sistema, transformação de entidade contínua em discreta, bloqueios e desbloqueios de locais.

**Comunicação com planilha eletrônica externa e suas funções:** através do elemento *TextFile* criou-se relatórios para arquivo de extensão *CSV* com informação dos cenários do modelo operacional.

O modelo foi rodado ao longo de 25 dias referente a um mês de produção. A variável de interesse monitorada para posterior verificação e validação do modelo foi a quantidade de barras 4kg produzidas diariamente. A Figuras 3 mostra a tela do modelo computacional

Figura 3: Fragmento do modelo computacional construído no Anylogic ®



#### 4.2.3. Verificação do modelo computacional

Foi construído um modelo com contadores que determinam o número de produtos em cada local, além do uso de variáveis que armazenaram informações diárias de produção de peças de queijos. Ademais, o modelo foi primeiramente construído em sua forma determinística, que auxiliou à verificação, para posteriormente ser transformado em modelo estocástico, utilizado assim para a validação.

#### 4.2.3. Validação do modelo computacional

O modelo computacional foi replicado inicialmente cinco vezes gerando um total de 150 resultados de saída do modelo. A quantidade de barra 4kg produzida diariamente foi registrada em planilha eletrônica. A seguir foi feito o teste de normalidade através do Minitab® para os dados reais e os dados simulados e os *p-values* encontrados foram 0,370 e 0,660. Em ambos os casos, como o valor do *p-value* é maior que o nível de significância 0,05, se aceitou a hipótese de normalidade. Em seguida, realizou-se a comparação entre os intervalos de confiança dos dados reais e simulado. Para os dados reais, com 95% de confiança, a média produzida situa-se entre {272,56;366,60} e para os dados simulados, o intervalo encontra-se entre {305,10;306,90}. Como o intervalo dos dados simulados está contido dentro do intervalo dos dados reais, o modelo foi considerado válido. A segunda maneira de validar o modelo foi através do teste 2 *Sample t*, que comparou as médias entre o conjunto de dados reais e simulado. Uma vez que o *p-value* foi de 0,555 e maior que 0,05 confirmando a aceitação da validade do teste, o modelo foi considerado válido.

#### 4.3. Modelo Operacional

Para realizar os experimentos foram escolhidas três variáveis de entrada: oferta de leite, capacidade da pasteurização e quantidade de tanques de coagulação. Como cada variável poderia assumir dois níveis, a quantidade total de cenários a ser executados foi 8. O Quadro 3 apresenta a configuração dos cenários e os resultados obtidos:

Quadro 3: Resultado dos cenários

<i>Cenários</i>	<i>Oferta leite</i>	<i>Capacidade pasteurizador</i>	<i>Quantidade tanques</i>	<i>Produção média</i>	<i>Teste normalidade (p-value)</i>	<i>Produção Real</i>
1	Alta	Mínima	1	305	0,149	310
2	Alta	Mínima	2	305	0,05	310
3	Alta	Máxima	1	306	0,109	310
4	Alta	Máxima	2	305	0,579	310
5	Baixa	Mínima	1	98	0,05	310
6	Baixa	Mínima	2	98	0,922	310
7	Baixa	Máxima	1	98	0,05	310
8	Baixa	Máxima	2	98	0,05	310

Após análise dos resultados dos experimentos, conclui-se que o único fator que impacta na quantidade de peças produzidas é a oferta de leite. Mesmo em situações de alta oferta, considerando a pior combinação de fatores (capacidade baixa de pasteurização e 1 tanque para coagular) o sistema possui capacidade para processar todo o leite destinado a essa família de produtos. Sendo assim, a fábrica trabalha com capacidade ociosa quanto a locais de processamento.

Á medida que *p-value* foi maior ou igual a 0,05, aceitou-se o teste de Normalidade para os resultados obtidos dos cenários, afirmando que o modelo apresentou boa execução dos experimentos.

## 5. Conclusão

O trabalho apresentou uma aplicação da simulação híbrida a eventos discretos e contínuos de um processo de fabricação de queijos. O principal objetivo consistiu em avaliar o impacto da variação da oferta de leite no sistema produtivo. O trabalho abordou aspectos como o uso do IDEF-SIM para construção do modelo conceitual que em seguida, foi modelado computacionalmente no software Anylogic®. Ainda foi considerado o uso do IDEF3 como ferramenta adicional ao mapeamento conceitual, mostrando a transformação das entidades contínuas em discretas.

O IDEF-SIM auxiliou na construção da lógica de programação do modelo computacional a partir do Anylogic ®. Na medida que registrou somente informações de interesse à programação como locais, entidades, recursos, controles, capacidade e tempo de processamento, a construção do modelo foi favorecida. O DEF3 auxiliou a visualização da transformação das entidades ao longo do modelo, em termos de quantidade e natureza (se contínua ou discretas). A partir desse, foi possível estabelecer os comandos necessários para criação das entidades, bem como para o tratamento das mesmas.

A representação computacional a partir do Anylogic® permitiu a representação dos fluxos em dois locais: na operação da pasteurização e no transporte entre os locais coagulação e fermentação. Isso foi possível graças a existência de comandos destinados a essa função no software. Nos demais locais contínuos, como a própria coagulação e fermentação, foi necessário descrevê-las a partir de comandos discretos, e nesse caso, houve uma “discretização” dos locais contínuos. Conclui-se então que o software em estudo apresentou bom comportamento para representação do processo de fabricação de queijos.

Para análise do sistema, três fatores foram escolhidos como variáveis de entrada: oferta de leite, capacidade do equipamento de pasteurização e quantidade de tanques de coagular. Em cada fator foram considerados dois níveis gerando um total de oito cenários, que analisaram o impacto da variação do leite no sistema. O modelo operacional apresentou bom comportamento para os experimentos a partir da análise do *p-value* e foi possível concluir que somente a disponibilidade de leite impacta na produção de queijos, comportando-se como gargalo do sistema. Conclui-se ainda que existe ociosidade em termos de equipamentos, uma vez que, na pior configuração de cenários (alta oferta de leite, baixa capacidade de pasteurização e 1 tanque de coagular) foi capaz de produzir a quantidade de queijos esperada.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio à pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- ABDULMALEK, F.A.; RAJGOPAL, J.** Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107 (1), 223–236, 2007.
- ABIQ** (2014). Minas Leite ajuda crescimento do leite em Minas. Disponível em <http://www.abiq.com.br>.
- BALABAN, M., HESTER, MP., DIALLO, S.** Towards a theory of multi-method M&S approach: part I. In *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 2014.
- BRAILSFORD S.C. HILTON, N.A.** A Comparison of Discrete Event Simulation and System Dynamics for Modelling Healthcare Systems, *Proceedings of ORAHS* (Riley, J. ed.), pp. 18-39, Glasgow Caledonian University, 2000.
- CHWIF, L.; PAUL, R.J.; BARRETTO, M.R.P.** Discrete event simulation model reduction: A causal approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v.14, p. 930–944, 2006.
- DJANATLIEV, A., GERMAN, AR.** Prospective healthcare decision-making by combined system dynamics, discrete-event and agent-based simulation. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 2013.
- FURTADO, M.M., MAGALHAES NETO, J.P.** (1994). *Tecnologia de fabricação de queijos*. São Paulo: Dipemar LTDA.
- HARREL, C. R.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A.** *System Improvement Using Simulation*. Orem, Utah: PROMODEL Corporation. 1996.
- KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A.** *Simulation with Arena*. MacGraw Hill, 1998.
- KLEIJNEN, J.P.C.** Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v.82, p.145-162, 1995.
- LANE, D.C.** You just don't Understand me: Modes of failure and success in the discourse between system dynamics and discrete event simulation. *LSE OR Department Working Paper LSEOR 00-34*, School of Economics and Political Science, London, 2000.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D.** *Simulation modeling and analysis*, 3.ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F.** Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- LEAL, F., ALMEIDA, D. A. de e MONTEVECHI, J. A. B.** Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, João Pessoa-PB: Anais XL, 2008.
- LOUREIRO, S.A.** Uso integrado de métodos de simulação de eventos discretos e contínuos na resolução de problemas logísticos e parques de diversão. 115 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- MAYER, R.J., MENZEL, C. P., DEWITTE, M.K., PERAKATH, B.** Information Integration for concurrent engineering IDEF3 process description capture method report. In: *Armstrong Laboratory Human Resources Directorate Logistics Research Division*. Wright-Patterson AFB, OH 45433, 1995.
- MAYO, D. D. WICHMANN, K. E.** Tutorial on Business and Market Modeling to Aid Strategic Decision Making: System Dynamics in Perspective and Selecting Appropriate Analysis Approaches. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003.
- MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F. de; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L.** Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: *Winter Simulation Conference, Proceedings*. Baltimore, MD, USA, 2010.
- MORECROFT, J. D. W. e ROBINSON, S.** Explaining Puzzling Dynamics: Comparing the Use of System Dynamics and Discrete-Event Simulation. *The 23rd International Conference of the System Dynamics Society*. Boston, July, 2005.
- SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; OLIVEIRA, E. da S.; LEAL, F.** Integration of computer simulation in design for manufacturing and assembly. *International Journal of Production Research*, v. 52, p. 2851-2866, 2014.
- SARGENT, R.G.** Validation and verification of simulation models. In: *Proceedings of the 2010 Winter Simulations Conference*, Washington, DC, USA, 2010.