

## 1. INTRODUÇÃO

O tema da Economia associada ao Ambientalismo, tem sido apresentado às literaturas acadêmica e executivas como relevantes, como sujeitos e objetos de investigação, com frequência crescente. Diversos autores clássicos, assim como os contemporâneos, vêm tratando o tema, destacando a necessidade de a gestão moderna ser fundamental e efetiva nas conquistas da qualidade de vida humana e animal, do desenvolvimento sustentável, da necessidade de crescimento da economia e dos mercados, da integração social e da segurança alimentar dos povos. (Rödger, J-M., Beier, J., Schönemann, M., ... & Hauschild, 2021) consideram que a eco-eficiência dos processos de produtivos atuais ainda é dominada pelas pesquisas nas áreas de engenharia. Entretanto, negligenciar os impactos ambientais de equipamentos produtivos ou suprimentos de energia pode significar sub otimalidade ou redução de eficiência.

Neste sentido, a indústria de alimentos vem, desde seu surgimento há vários séculos, sendo alvo de especulações sobre fundamentos econômicos e tecnológicos, que, em maior ou menor grau, impactam o meio ambiente. Para AL-Agele, Nackley e Higgins (2021), a produção de alimentos deverá aumentar em 2050, nove bilhões de pessoas, que necessitarão de 13,5 bilhões de toneladas de alimentos, confirmando a significância deste segmento e seus impactos correlatos. A indústria de alimentos, como um dos motores do desenvolvimento de um país ou região, se caracteriza também pelas essenciais contribuições à vida de humanos, animais e vegetais, proporcionando a perspectiva de intensidade e qualidade na existência destes seres.

Um dos segmentos mais notórios deste setor é a indústria de confeitaria, que compreende chocolates, balas ou gomas, castanhas e nozes. O segmento de balas chega a produzir 378 mil toneladas ano. A capacidade de produção e o mercado de consumo fazem do Brasil o 6º maior mercado de confeitaria do mundo. A indústria de confeitaria brasileira representa um mercado de aproximadamente US \$ 26,4 bilhões, empregando mais de 42 mil funcionários diretamente, segundo o Euromonitor (2019). A evolução da indústria de confeitaria ocorreu em três classes: confeitaria de chocolate, confeitaria de açúcar e itens de goma, sendo cada uma delas marcada pela utilização de muito açúcar e seus substitutos (Tulasi, 2018). Os produtos que fazem parte do mercado de confeitaria se referem a um grande e heterogêneo grupo de consumidores. Estima-se que o tamanho do mercado da indústria global de confeitaria chegue a 232.085 milhões de dólares até 2022 (Tulasi, 2018).

A produção de alimentos é intensiva em consumo, recursos, perdas e desperdícios de alimentos. São indiretamente acompanhados por uma ampla gama de impactos ambientais, como o erosão do solo, desmatamento, poluição da água e do ar, bem como emissões de gases que ocorrem nos processos de produção de alimentos, armazenamento, transporte e gerenciamento de resíduos (Mourad, 2016). Nesse sentido, muitas indústrias não se adaptaram para a sustentabilidade na produção e fabricação e têm enfrentado dificuldades para medir sua sustentabilidade. Como a preocupação ambiental das organizações, é essencial entender quais práticas levam a uma sinergia negativa entre desempenho operacional e ambiental (Ugarte, Golden e Dooley, 2016). O balanço de massas e energia pode ser utilizado por meio de uma abordagem de Dinâmica de Sistemas (DS) para a análise de eficiências de processos, devendo considerar as necessidades de energia, água, materiais, produtos, subprodutos, perdas energéticas e geração de resíduos, além de possibilidades de reaproveitamento de energia e materiais (Bantacut e Novitasari, 2016).

Frente a esse contexto, neste estudo, foi desenvolvida uma abordagem de DS para analisar um processo produtivo da indústria alimentícia de confeitaria, considerando aspectos como consumo de materiais, água, energia, perdas e produtos acabados, bem como custos associados. Espera-se que os resultados demonstrados neste trabalho possibilitem a proposição de medidas

de melhoria de desempenho ambiental e econômico para o processo produtivo em questão. Além disso, a mensuração dos impactos econômicos e ambientais por meio dos modelos e simulações poderá subsidiar o processo decisório e ampliar a visão sistêmica do processo.

Neste contexto a pergunta desta pesquisa é: qual é o nível de a eficiência de processos produtivos da fabricação de confeitaria, considerando a conversão de matérias-primas e insumos em produtos acabados, assim como o consumo de água e energia e as respectivas perdas? O objetivo geral deste estudo é: avaliar a eficiência de processos produtivos da fabricação de confeitaria, considerando a conversão de matérias-primas e insumos em produtos acabados, assim como o consumo de água e energia e as respectivas perdas. Os objetivos específicos foram: 1) Caracterizar e modelar dos processos produtivos; 2) Avaliar o consumo de materiais no processo produtivo identificando impactos ambientais e oportunidades de melhoria; 3) Mensurar o consumo de energia no processo produtivo identificando impactos ambientais e oportunidades de melhoria; e, 4) Quantificar os custos relacionados ao consumo de energia e materiais do processo produtivo confrontando-se o valor empregado nos produtos e o valor relativo às perdas.

Como justificativas para este estudo, destacam-se as contribuições potenciais à literatura pertinente, que ainda se considera emergente, ao adotar as tecnologias recém disponibilizadas para a caracterização de cenários de negócios. Outra contribuição potencialmente relevante consiste na oportunidade de se aplicar e testar as metodologias de Dinâmica de Sistemas e suas tecnologias em estudos que podem contribuir nos processos de tomada de decisões corporativas.

## **2. ALGUNS FUNDAMENTOS DA LITERATURA**

### **2.1 Balanço de massa**

O balanço de massa e de energia advém da realização de um inventário que leva ao conhecimento detalhado do processo de produção. É possível identificar pontos de produção de resíduos e sua destinação, bem como a quantidades de materiais que circulam no sistema, e identificar pontos críticos de desperdícios de matéria-prima ou produção de resíduos (Giannetti e Almeida, 2006). Davis e Masten (2016) consideram ainda que o balanço de massa ou de materiais pode ser visto como um processo contábil, a exemplo do que é feito toda vez que é realizado o balanço do saldo de uma conta bancária. da mesma forma, o fluxo de massa ocorre no que é chamado de sistema. o balanço de massa para cada estágio ou para o todo, possibilitando estimar a eficiência deles.

### **2.2 Consumo de energia**

Guerrero e Muñoz (2018) destacam a importância da produção e do consumo energético, ao citarem a Agenda para Sustentabilidade 2030. Neste contexto, Khanali *et al.* (2016) descrevem o balanço de energia em um sistema produtivo como uma relação entre a entrada e a produção de energia na qual é possível verificar a perda, obtenção ou permanência da mesma, sendo o balanço energético da produção avaliado utilizando fatores de conversão de energia. O balanço energético líquido é a diferença entre o total da produção de energia e consumo total de energia ao longo do ciclo de vida do produto ou de um processo produtivo.

### **2.3 Dinâmica de sistemas**

O desenvolvimento de modelos de Dinâmica de Sistemas (DS) é um processo extenso que envolve identificação de variáveis problemáticas, desenvolvimento da estrutura do sistema e

análise do comportamento dinâmico das variáveis, juntamente com tarefas de validação em cada uma dessas etapas (Sterman, 2000). Para Keramydas *et al.* (2017), a complexidade dos modelos analíticos relevantes aumenta significativamente quando critérios adicionais de impacto ambiental são incorporados aos processos analíticos. Conforme Rahmandad (2015), os analistas de DS recorrem à estrutura conceitual da visão baseada em recursos e frequentemente a utilizam na modelagem de processos organizacionais, embora com rótulos diferentes, em que “recursos” são representados como as principais variáveis de estoque para modelar o desempenho de uma organização.

## 2.4 Custos

Dentro do conceito de custos por responsabilidade, uma primeira forma de se fazer comparações é entre os custos incorridos e o volume de produção efetuado para comparação com exercícios passados (Martins, 2010). Os custos e o investimento dependem de cenários que consideram o investimento em máquinas automáticas, custos produzidos pelo aumento da quantidade de operadores (salários) ou pelo aumento de turnos (custos com energia elétrica, diferencial de salário no turno da noite, alimentação, transporte, depreciação de equipamentos). Dessa forma, os custos relacionados às perdas em materiais, energia, água do processo ocorridos no processo produtivo devem ser analisados devidamente, uma vez que irão impactar na lucratividade da operação.

## 2.5 Impactos ambientais e aspectos ambientais

Os sistemas de produção não podem existir isoladamente das instalações que os sustentam ou dos edifícios que os rodeiam. De acordo com Merino-Saum *et al.* (2020), nos últimos 10 anos, os conceitos de economia verde e o crescimento verde ganharam dinâmica nas agendas políticas nas escalas nacional e global. A avaliação da sustentabilidade ajuda a entender melhor o conceito de sustentabilidade, identificando e avaliando seus impactos e promovendo seus objetivos (Waas *et al.*, 2014). Os aspectos e impactos ambientais são inerentes às atividades antrópicas em maior ou menor grau e relevantes nas atividades de manufatura. A mensuração, avaliação e gerenciamento dos impactos ambientais constitui importante papel no controle ambiental como contenção de externalidades, mas é tarefa essencial como medida de eficiência econômica do sistema.

## 3. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa descritiva, com dados documentais secundários, em uma indústria de alimentos, mais especificamente, uma confeitaria de médio porte, situada em Minas Gerais. Esta confeitaria possui tecnologia de domínio comum com produção através de *batch cooker*, com aproximadamente 350 funcionários. Os modelos apresentados neste trabalho foram desenvolvidos a partir da análise de fluxogramas do processo produtivo de uma planta real com proteção dos dados que pudessem identificar a empresa, mas refletindo a dinâmica dos processos. Os dados coletados para esta pesquisa: capacidades, tempos de ciclo, consumo de materiais e energia que compõem o inventário da análise estavam dentro dos limites do sistema considerado e foram verificados por meio de registros de informações dos processos, como diagramas de produção, fichas técnicas de produto, relatórios de geração de resíduos, efluentes, emissões, entre outros. A técnica de Dinâmica de Sistemas (DS) foi utilizada para a realização de análises por meio das ferramentas de balanço de massa, energia e custos, possibilitando identificação de oportunidades de melhorias e mais assertividade para o processo decisório. o processo produtivo e as variáveis relacionadas ao consumo de matérias-primas,

insumos e água demonstram o nível de eficiência na transformação de materiais e serviços e em produtos acabados. Os dados de consumo de energia, água, geração de resíduos e efluentes possibilitam a análise do impacto e desempenho ambiental dessa atividade em determinados níveis de produção. O processo produtivo abordado neste estudo representou a fabricação do tipo de produto mais representativo no ambiente estudado. Na tabela 1 é apresentada a relação das matérias-primas consumidas no processo produtivo e o custo representado pelo valor em reais por quilo de cada matéria-prima.

**Tabela 1** – relação de matérias-primas e o valor de compra por quilo

<b>Matérias-primas</b>	<b>Valor (R\$/kg)</b>
Açúcar	1,637
Glucose	1,604
Gordura	8,072
Ácido	6,13
Essência	32,4
Corante	99,02
Embalagem primária	20,05
Embalagem secundária	11,19
Embalagem pacote	20,01
Caixa de papelão	3,47
Fita adesiva	15,15

Fonte: Dos autores, 2021.

#### **a. Modelagem da massa no processo produtivo**

Conforme citado por Wolf (2016), as entradas foram tratadas como variáveis independentes e os resultados como variáveis dependentes. A modelagem usou dados no formato de proporção (coeficiente ou eficiência) da variável dependente e independente, valores baseados em princípios de equações lineares. A partir da elaboração dos fluxogramas, obtenção dos parâmetros de processo e definição das equações, os modelos em DS foram elaborados no *software* AnyLogic®, versão PLE. Neste estudo foram abordadas duas fontes de energia: vapor produzido por meio da caldeira de biomassa e a energia elétrica fornecida pela concessionária local. A produção de vapor conta com a utilização de biomassa, oriunda de lenha plantada (eucalipto), como material combustível. Foi realizado o modelamento do processo de produção de vapor com os custos de produção de vapor e destinação de resíduos. A Tabela 2 apresenta os custos de produção de vapor e a destinação dos resíduos.

**Tabela 2** – Custos de produção de vapor e destinação de resíduos

<b>Materiais</b>	<b>Custo</b>
Lenha (m <sup>3</sup> )	R\$ 30
Água com tratamento (m <sup>3</sup> )	R\$ 0,23

Fonte: Dos autores, 2021.

Foi obtido o consumo de energia elétrica nas diferentes etapas do processo produtivo relativa ao funcionamento de equipamentos com motores elétricos, rotores e outros componentes, à exceção da etapa de encaixotamento. O consumo de energia foi calculado conforme as demandas de cada equipamento do processo produtivo, sendo: consumo de energia elétrica dos equipamentos produtivos nos processos de pré-mistura e cozimento, cozimento, aeração, extrusão, refrigeração, embalagem e empacotamento, demonstrado na Tabela 4.



Tabela 3 – Custos de energia elétrica

Descrição	Custo(R\$)
Custo kw	0,11

Fonte: Dos autores, 2021

## Consumo de energia elétrica em processos de resfriamento e refrigeração

Os processos de refrigeração e resfriamento estão ligados à planta de refrigeração, que é constituída por bombas de água gelada e condensação e ainda por torres de resfriamento que permanecem ligadas em circuito, fazendo troca de calor da área de processo com a central por meio de distribuição de água gelada.

A Tabela 5 traz os custos de energia elétrica em refrigeração.

Tabela 4 – Custos de energia elétrica em refrigeração

Descrição	Custo(R\$)
Custo kw	0,11
Kw/TR	0,95

Fonte: Dos autores, 2021.

## Avaliação de custos

Os custos foram avaliados por meio da obtenção de valores relativos ao consumo de energia e materiais, às perdas relacionadas, aos custos de destinação e tratamento de resíduos conjuntamente com os resultados obtidos nas simulações do modelo de DS.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados do processo produtivo atual da empresa

Os dados referentes ao processo produtivo atual se referem ao período de produção diária, ou seja, 8 horas de tempo líquido de produção. As matérias-primas primárias e embalagens consumidas no processo produtivo atual da empresa foram descritas na Tabela 6.

Tabela 5 – Consumo de matérias-primas e de embalagens

Matérias-primas e de embalagens	Quantidade (kg)	Quantidade (%)
<b>Consumo de matérias-primas</b>	<b>16048,593</b>	<b>96,46</b>
P. Pré-mistura e cozimento	16044,06	96,43
P. Temperagem	4,533	0,03
<b>Papelão</b>	<b>85,088</b>	<b>0,51</b>
P. Encaixotamento	85,088	0,51
<b>Plásticos</b>	<b>503,827</b>	<b>3,03</b>
P.Embalagem	395,441	2,38
P.Empacotamento	108,372	0,65
p. Encaixotamento	0,014	0,00
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>16637,508</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

Sobre o consumo de eletricidade, a Tabela 7 traz o seu consumo nos processos.

**Tabela 6 – Consumo de energia elétrica nos processos**

Processo	Consumo de energia elétrica no Cenário atual (kWh)	Consumo de energia elétrica no Cenário atual (%)
Pré-mistura	29,751	0,03
Cozimento	240,249	0,23
Aeração	17,119	0,02
Refrigeração	12,839	0,01
Extrusão	523,691	0,51
Embalagem	109,526	0,11
Empacotamento	94,825	0,09
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>1028</b>	<b>1,00</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

A Tabela 8 apresenta o consumo de energia de vapor por processo produtivo atual da empresa.

**Tabela 7 – Consumo de energia de vapor**

Processo	Consumo energia de vapor (kWh)	Consumo energia de vapor (%)
Pré-mistura e cozimento	259.800,78	82
Armazenamento de calda	13.142,00	4
Armazenamento de gordura	33.766,83	11
Cozimento	10.291,06	3
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>317.001</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

A Tabela 9 apresenta o consumo de TR nos processos de resfriamento e refrigeração.

**Tabela 8 – Consumo de TR em refrigeração**

Processo	Consumo energia em refrigeração (kWh)	Consumo energia de refrigeração (%)
Resfriamento	7,59	15
Refrigeração	41,86	85
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>49,46</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor, 2021.

Verifica-se na Tabela 10 a geração de resíduos orgânicos, resíduos plásticos e de papelão oriundos de perdas de processo e de embalagem. Os resíduos orgânicos são destinados a aterros classe II licenciados; já os materiais recicláveis são vendidos para reciclagem. Os resíduos sólidos orgânicos correspondem a 38,57% dos resíduos gerados no processo.

**Tabela 9 – Geração de resíduos oriundos de processos e de embalagem**

	Perdas de matérias-primas no cenário atual (kg)	% de perdas de matérias-primas no cenário atual
Consumo de matéria-prima	69,6444314	38,57
Pré-mistura e cozimento	69,601	38,55
Temperagem	0,0434314	0,02
Papelão	0,94	0,52
Encaixotamento	0,94	0,52
Plásticos	109,9801564	60,91

	<b>Perdas de matérias-primas no cenário atual (kg)</b>	<b>% de perdas de matérias-primas no cenário atual</b>
Embalagem	1,608	0,89
Empacotamento	108,372	60,02
Encaixotamento	0,0001564	0,00
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>180,5645878</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

A Tabela 11 apresenta as perdas de matérias-primas no cenário atual em relação à destinação dos resíduos.

**Tabela 10 – Perdas de matérias-primas em relação à destinação dos resíduos**

<b>Destinação de resíduos</b>	<b>Perdas de matérias-primas no cenário atual (kg)</b>	<b>% de perdas de matérias-primas no cenário atual</b>
Aterro classe II	71,229	39,45
Venda reciclagem	109,3355878	60,55
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>180,5645878</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

## 4.2 Definição de cenários de simulação com proposições de melhorias

Com finalidade de avaliar resultados de possíveis modificações nos processos, realizou-se a simulação de cinco cenários. Os resultados obtidos em cada cenário foram comparados a situação atual dos processos. Os cenários foram simulados considerando oito horas de produção efetiva por dia durante os 12 meses do ano.

### 4.2.1 Simulação do cenário 1

Os resultados obtidos com simulação do cenário 1 foram comparados ao cenário atual, conforme apresentado na Tabela 12. Os dados foram tabulados em uma planilha para facilitar a avaliação dos ganhos com as medidas implementadas. A simulação considerou o período de 12 meses, com tempo de produção líquido de produção de 8 horas/dia, de segunda a sexta-feira, a partir da qual verificaram-se as médias mensais.

**Tabela 11 – Simulação de consumo e perdas do cenário atual**

	<b>Cenário consumo atual (kg)</b>	<b>Cenário atual perda (kg)</b>	<b>Perdas cenário 1 (kg)</b>	<b>Desvio relativo perdas (cenário atual x cenário 1-ME) %</b>
Cons_acucar	153097,44	1,01	0,98000	0,03
Cons_glu	131060,45	0,16	0,15313	0,03
Cons_agu	45643,33	2,18	2,11108	0,03
Cons_gord	8332,34	2,25	2,17858	0,03
Cons_corante	1,87	0,02	0,00001	1,00
Cons_essencia	49,98	1,08	0,00052	1,00
Cons_acido	43,73	0,94	0,00046	1,00
Cons_emb_prim	8448,98	14,43	6,16358	0,57

Cons_emb_sec	18789,71	96,27	41,11950	0,57
Cons_emb_pct	7738,04	473,67	237,04683	0,50
Cons_fita_ad	1,09	0,00	0,00001	0,41
Cons_papel	6576,77	464,63	271,21617	0,42
Estoque_produto	627267,58			

Fonte: Dos autores, 2021.

Os resultados obtidos se referem às simulações do modelo do processo produtivo desenvolvido no Anylogic, e demonstram a aplicação das melhorias propostas nas diferentes etapas do processo produtivo onde as taxas de perdas de resíduos foram reduzidas e alteradas conforme cada intervenção. Verifica-se que ocorre o aumento da eficiência no processo produtivo em relação ao consumo de matérias-primas e redução de perdas e geração de resíduos a partir das medidas implementadas para redução da geração de resíduos. Destaque para a redução de perdas nos processos de embalagens e empacotamento com redução de 57 a 50 % nas perdas respectivamente. O consumo médio mensal de água para produção de vapor foi reduzido de 1.056,64 m<sup>3</sup> para 834,78 m<sup>3</sup>. A redução de perdas no processo produtivo leva indiretamente a redução de consumo de água presente no material em processo.

#### 4.2.2. Simulações do cenário 2

Esse percentual aplicado ao processo de produção de vapor irá promover as reduções demonstradas na Tabela 13 nas variáveis ligadas ao processo de produção de vapor.

**Tabela 12 – Resultados simulação do cenário 2 processo de produção de vapor**

	Cenário Atual	Cenário 2 Melhorias	Desvio relativo Cenário atual x Cenário 2.1 melhorias %
Consumo_agua (m <sup>3</sup> )	1090,041917	834,786	0,234170735
Consumo_vapor (ton/vapor)	1408,366667	1382,78	0,018167617
Geracao_Cinzas (kg)	481,02875	368,3859167	0,234170688
Consumo_lenha (m <sup>3</sup> )	1005,35	769,9265	0,234170687
Demanda_E_total_ton_vapor	4291000	3339000	0,221859706
Demanda_vapor_ton_h (vaporton/h)	8,35	8,33	0,00239521
Demanda_ag_h(m <sup>3</sup> /h)	1620,59725	5,029	0,996896823
Demanda_lenha (m <sup>3</sup> /h)	2,852	2,219	0,221949509
Custo_lenha (R\$)	14430,85992	11051,5745	0,234170759
Custo_destinacao_Cinza (R\$)	1698,031583	1300,401583	0,234171145
Custo_mao_obra (R\$)	6072	5976	0,015810277
Custo_agua (R\$)	250,7095	192,00075	0,234170424
Cust_ton_vapor (R\$)	14,86	12,558	0,154912517
Gasto_vapor (R\$)	22451,6005	18519,97775	0,175115478

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 13 apresenta os principais elementos descritos no modelo desenvolvidos de produção de vapor em função das necessidades do processo produtivo, são apresentados os



custos relativos a estes parâmetros de forma a se mensurar os custos de produção de vapor. Demonstração da redução de consumo e lenha do cenário atual a partir das ações implementadas para redução de perdas de vapor no processo produtivo. A redução do gasto em produção de vapor mensal ocorrerá em média de R\$ 2.2451,00 para R\$ 18.519,98. A projeção de redução de vapor é da mesma ordem do cenário 2, cerca de 22%, porém no consumo dos equipamentos do processo produtivo, uma vez que passaram a contar com o isolamento térmico.

**Tabela 13 – Resultados simulação do cenário 2 reduções do consumo de vapor**

	<b>Cenário atual (kg/vapor)</b>	<b>Cenário 2 Melhoria (kg/vapor)</b>	<b>Desvio relativo (cenário atual x cenário 2 ME) %</b>
Premix_Energia_consumida_vapor	19.798,33	15.441,67	0,22
Premix_Energia_consumida_mp	0,10	0,10	0,00
Premix_Energia_consumida_total	639,72	498,99	0,22
Tanque_Armazenamento_Energia_consumida_ta_v	1.001.431,90	809.614,58	0,19
Tanque_Armazenamento_Energia_consumida_cal	-	-	0,00
Tanque_Armazenamento_Energia_total_consumida	29.388,10	23.759,31	0,19
Tanque_gordura_Energia_consumida_Tg_vapor	2.573,00	2.006,92	0,22
Tanque_gordura_Energia_consumida_Tanque_Mp	-	-	0,00
Tanque_gordura_Energia_Consumida_total_tg	6.835,26	6.787,49	0,01
Cozimento_Energia_consumida_cz_vapor	784.177,78	609.250,57	0,22
Cozimento_E_consumida_cz	-	-	0,00
Cozimento_Energia_total_Consumida_Cozimento	33.561,21	26.196,37	0,22
	<b>Cenário atual (R\$)</b>	<b>Cenário 2 Melhoria (R\$)</b>	<b>Desvio relativo (cenário atual x cenário 2 ME) %</b>
Cust_cons_vap_premix	5.522,05	4.307,20	0,22
Cust_vap_tq_armaz	1.800,59	1.455,72	0,19
Cust_vap_tq_gord	40,30	31,44	0,22
Cust_vap_coz1	494,42	385,65	0,22

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 14 demonstra a redução do consumo de vapor no processo produtivo considerando a implementação das melhorias em isolamento térmico que reduziram a necessidade de produção de vapor e dos custos associados. A redução dos custos de produção de vapor foi de R\$ 250,70 para R\$192,00 por tonelada de vapor. Os custos mensais de lenha para consumo na caldeira na produção de vapor foram reduzidos na média mensal de R\$ 14.430,85 para R\$ 11.051,57, assim como ocorreu a redução dos custos mensais de destinação de cinza de R\$1.698,031 para R\$1.300,40. O vapor consumido nos processos de aquecimento de gordura foi reduzido de 6.835,26 vapor kg/h para 6.787,49 vapor kg/h. O vapor consumido no tanque de armazenamento de calda foi reduzido de 29.388,098 vapor kg/h para 23.759,312

vapor kg/h. A redução do custo mensal médio de consumo de vapor total no cenário 2 foi de R\$ 7.857,36 para R\$ 6.180,00.

#### 4.2.3 Simulações do cenário 3

O cenário aborda o consumo de energia elétrica no cenário atual e a implementação de melhorias que promoveriam a redução do consumo de energia e, sobretudo, dos custos associados (Tabelas 15 e 16).

**Tabela 14 – Resultados simulação cenário 3 (consumo de energia elétrica)**

Processo	Cenário Atual (kw/Mês)	Cenário 3 Melhorias (kw/Mês)	Desvio relativo consumo E elétrica mensal (Cenário Atual_ Cenário 3_ME)
Premistura_Consumo_E_Eletrica	69	59	15%
Cozimento_Consumo_E_Eletrica	557	475	15%
Aeracao_Consumo_E_Eletrica	40	34	15%
Extrusao_Consumo_E_EletricaP1_P2	30	23	22%
Refrigeracao_Consumo_E_Eletrica	1215	1035	15%
Embalagem_Consumo_E_Eletrica_p2	254	216	15%
Empacotamento_Consumo E_Eletrica_p1_p2	440	374	15%
<b>Total Consumo de E Elétrica</b>	<b>2604</b>	<b>2215</b>	

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 15 demonstra as reduções de consumo de energia em cada equipamento do processo produtivo a partir da utilização dos dispositivos para desligamento automático dos mesmos considerando o cenário atual e as melhorias sugeridas no cenário 3.

**Tabela 15 – Resultado simulações cenário 3 reduções de custo consumo de energia elétrica**

Processo	Cenário atual (R\$)	Cenário 3 Melhorias (R\$)	Desvio relativo custo e. elétrica cenário atual x cenário 3_ME) %
Premistura_Custo_E_Eletrica	627,27	533,18	0,149999993
Cozimento_Custo_E_Eletrica	5065,43	4314,23	0,148300008
Aeracao_Custo_E_Eletrica	360,93	306,79	0,149999434
Extrusao_Custo E_EletricaP1_P2	270,70	230,09	0,149999477
Refrigeracao_Custo_ E_Eletrica	19682,73	9411,73	0,521827987
Embalagem_Custo_ E_Eletrica_p2	20381,61	1962,86	0,903694588
Empacotamento_Custo_ E_Eletrica_p1_p2	3998,58	3398,79	0,149999991

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 16 apresenta os custos de energia relacionados às economias obtidas em função da redução do consumo de energia elétrica no processo produtivo.

#### 4.2.4 Simulações do cenário 4

No cenário 4 foram consideradas as melhorias na planta de refrigeração, sendo apontados o consumo de energia elétrica nos processos de resfriamento e refrigeração e ainda o consumo de TR por kg de produto (Tabela 17).

**Tabela 16 – Resultado simulações cenário 4 consumo de energia elétrica em resfriamento**

	Cenário Atual	Cenário melhorias	Desvio relativo consumo de E. elétrica em refrigeração (cenário atual x cenário 4 ME) %
Tr_consumida_resfr_kg (TR/kg)	0,005	0,005	0
Cons_tr_resfr_process (TR)	1,473	1,473	0
Kw_tr_resfr_processo (kw/TR)	12,692	8,377	0,339977939
Custo_resfr_el_tr_kg (\$)	0,09425	0,06325	0,328912467
Custo_resfr_tr_process (\$)	220,6101667	96,86816667	0,560907967
Estoque_produto (kg)	627.267,58	627.267,58	627.267,58

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 17 representa os parâmetros atuais do processo de resfriamento a partir do consumo de TR (tonelada de refrigeração) por kg e do consumo de energia elétrica por TR, comparando com as melhorias obtidas com a utilização de uma nova planta de refrigeração e seu impacto na redução do consumo de energia elétrica. O custo de TR no processo de resfriamento foi reduzido de R\$ 220,61 para R\$96,87. O custo de TR por kg de produto foi reduzido de R\$ 0,09 para R\$0,06.

**Tabela 17 – Resultado simulações cenário 4 (consumo de energia elétrica em refrigeração)**

	Cenário Atual	Cenário Melhorias (kW)	Desvio relativo Consumo de E. elétrica em refrigeração (cenário atual x cenário ME) %
Tr_consumida_refrig_kg_p1 (TR/K)	0,058	0,058	0
Cons_tr_refrig_process (TR)	15,699	15,699	0
Kw_tr_consumida_processo_refrig_p1 (kw/TR)	69,933	46,156	0,339996854
Custo_el_tr_refrig_kg (\$)	1,008333333	0,670666667	0,334876033
Custo_el_tr_refrig (\$)	1215,562083	533,74325	0,560908277

Fonte: Dos autores, 2021.

O consumo médio mensal de refrigeração foi reduzido de 69,33 TR para 46,16 TR. O custo de energia elétrica em refrigeração foi reduzido de R\$ 1.215,56 para R\$ 533,74. O custo de energia elétrica em refrigeração no kg de produto foi reduzido de R\$ 1,00 para R\$ 0,67. Os resultados obtidos consideram a mesma hipótese descrita na tabela 17, com a obtenção de redução do consumo de energia elétrica no processo de refrigeração em função da substituição da planta de refrigeração industrial.

#### 4.3 Simulações cenário 5

Os dados obtidos com as simulações possibilitaram avaliar o desempenho do processo por meio da análise do consumo da quantidade de matéria e energia utilizada para cada kg de produto, assim como a perdas de matéria-prima. O cenário 5 considerou a implementação de todas as ações anteriormente citadas compreendidas nos cenários 1, 2, 3, 4.

**Tabela 18 – Resultado das simulações cenário 5 e coeficientes de matéria-prima por kg de produto**

Matéria-prima	Matéria-prima por kg de produto	Perda de matéria-prima por kg de produto (cenário atual)	Perda de matéria-prima por kg de produto (cenário 1)
Açúcar	0,24407	1,56233E-06	1,46557E-06
Glu	0,20894	2,44114E-07	1,46557E-06
Agu	0,07277	3,36552E-06	1,46557E-06
Gordura	0,01328	3,47313E-06	1,46557E-06
Corante	0,00000	1,59422E-11	1,59415E-06
Essência	0,00008	8,33111E-10	1,59415E-06
Ácido	0,00007	7,28822E-10	1,59415E-06
Emb_prim	0,01347	9,82608E-06	1,53747E-06
Emb_sec	0,02995	6,55534E-05	1,53747E-06
Emb_pct	0,01234	0,000377904	1,52773E-06
Fita_ad	0,00000	2,07248E-11	1,51601E-06
Papel	0,01048	0,000432377	1,51667E-06

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 19 apresenta a relação de consumo de matéria-prima e produtos auxiliares e as reduções de perdas de matérias-primas por kilograma de produto no cenário atual e em relação as melhorias implementadas para o cenário 1.

**Tabela 19 – Resultados simulação do cenário 5 coeficientes de energia por kg de produto cenário atual**

Processo	Consumo de energia por kg de matéria-prima (cenário atual)	Consumo de energia por kg de matéria-prima (cenário 5)
Consumo_agua_vapor (m <sup>3</sup> )	0,001737762	0,000894307
Consumo_vapor (ton/vapor)	0,002245241	0,001330829
Consumo_lenha (m <sup>3</sup> )	0,001602745	0,00220445
Consumo total de energia de vapor (Kj)	2,882312206	0,001227429
Total Consumo de E Elétrica	0,004151507	2,289794285
Cons_tr_resfr_process (TR)	2,34828E-06	0,003531738
Kw_tr_consumida_processo_refrig_p1 (kw/TR)	0,000111488	2,34828E-06

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 20 demonstra o consumo de energia elétrica e de vapor por kg de produto no cenário atual e as reduções obtidas após a implantação das ações propostas. A Tabela 21 mostra a simulação.

**Tabela 20 – Resultados simulação do cenário 5 coeficientes de energia e perdas por kg de produto reduções com melhorias**

Processo	Cenário atual	Cenário 5 Melhorias	Redução	Desvio relativo cenário atual x cenário 5
Perdas M.p (kg)	1056,63983	560,9698	495,67	0,47
Consumo_agua_vapor (m <sup>3</sup> )	1090,041917	834,786	255,26	0,23
Consumo_vapor (ton/vapor)	1.408,37	1382,78	25,59	0,02
Consumo_lenha (m <sup>3</sup> )	1.005,35	769,9265	235,42	0,23
Consumo total de energia de vapor (Kj)	1807981,012	1436313,7	371667,28	0,21
Consumo de E Elétrica	2604,105583	2215,344668	388,76	0,15
Cons_tr_resfr_process (TR)	1,47	1,473	0,00	0,00
Kw_tr_consumida_processo_refrig_p1 (kw/TR)	69,933	46,156	23,78	0,34

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 21 apresenta os principais parâmetros do processo produtivo e seus percentuais por kg de produto nas condições atuais do processo produtivo e no cenário 5 onde ocorre a implementação de todas as melhorias. A Tabela 22 mostra as simulações cenário 5 custos atuais e reduções com melhorias

**Tabela 21 – Resultado simulações cenário 5 custos atuais e reduções com melhorias**

Processo	Custos e gastos do cenário atual(R\$)	Custos e gastos cenário5 (R\$)	Economia cenário 5 (R\$)
Custo Perda de M. P	13.548,93	7.136,33	6.412,60
Gasto_vapor	22.451,60	18.519,98	3.931,62
Custo total consumo vapor	7.857,36	6.180,00	1.677,36
Custo total E elétrica	50.387,25	20.157,67	30.229,58
Custo_resfr_tr_p	220,61	96,87	123,74
Custo_el_tr_refrig	1.215,56	533,74	681,82
Economia média mensal			43.056,72

Fonte: Dos autores, 2021.

A tabela 22 apresenta os custos e economias relacionadas ao conjunto de melhorias propostas no cenário 5 envolvendo custos de perda de matéria-prima, gasto de vapor, custo total consumo de vapor, custo total de energia elétrica, custo de energia elétrica em refrigeração resultando em uma economia mensal de R\$43.056,72.

### **Análise de desempenho do processo**

Os dados obtidos com as simulações possibilitaram avaliar o desempenho do processo por meio da análise do consumo da quantidade de matéria e energia utilizada para cada kg de produto, assim como as perdas de matéria-prima (Tabela 23).



**Tabela 22 – Consumo de matéria-prima por kg líquido de produto**

Matéria-prima	Cenário atual	Cenário 5	% redução cenário 5 x cenário atual
Açúcar	0,252923	0,252561	0,14%
Glucose	0,216517	0,165445	23,59%
Água	0,075404	0,064047	15,06%
Gordura	0,013765	0,013746	0,14%
Corante	0,000003	0,000003	18,29%
Essência	0,000083	0,000067	18,30%
Acido	0,000072	0,000059	18,30%
Embalagem primária	0,013958	0,013942	0,11%
Embalagem secundária	0,031041	0,031006	0,11%
Embalagem pacote	0,012784	0,012777	0,05%
Fita adesiva	0,000022	0,000019	15,16%
Papelão	0,010865	0,010863	0,02%
<b>TOTAL</b>	<b>0,627437</b>	<b>0,564534</b>	<b>10,03%</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

A redução do consumo de matéria-prima sobre o kg do produto líquido foi da ordem de 10,3%, destacando-se as melhorias nos processos de cozimento e temperagem em que a manipulação do produto em estado semiacabado é predominante. Além da perspectiva de redução das perdas físicas e econômicas há os benefícios da redução de resíduos e de carga poluidora dos efluentes. E, embora não seja objeto deste estudo, constituiu um importante ganho com a simplificação do processo de limpeza. A Tabelas 24 apresenta o consumo de matéria-prima e energia por um quilo líquido de produto.

**Tabela 23 – Consumo energia por kg líquido de produto**

Energia	Cenário atual	Cenário 5	Desvio relativo cenário atual x cenário 5
Consumo de E Elétrica (kwh)	0,004302079	0,003654597	15%
Consumo total de energia de vapor (Kwh)	0,000829681	0,00065818	21%
Kw_tr_consumida_processo_refrig_p1 (kw/TR)	0,000115532	7,61424E-05	34%
<b>TOTAL</b>	<b>0,005247293</b>	<b>0,00438892</b>	<b>16%</b>

Fonte: Dos autores, 2021.

A energia elétrica consumida por kg de peso líquido do produto acabado foi da ordem de 15%, tendo sido obtida por meio das modulações e programações de acionamento de equipamentos e linhas com os programadores lógicos propostos. O consumo de energia de vapor por kg de peso líquido de produto foi reduzido em 21%, representando redução dos custos relacionados à destinação de cinzas, consumo de lenha, água e espaçamento das rotinas de manutenção na caldeira para remoção de cinzas. A redução do consumo de energia de refrigeração em 34% no kg de produto líquido representou economia de água, produtos de tratamento da torre e do sistema, além de ter melhorado a performance da planta de refrigeração como um todo. Na hipótese de implementação de todas melhorias propostas, o processo apresenta as principais reduções de: perdas de matéria-prima da ordem de 47%, consumo de água para vapor de 23%, consumo de ton/vapor de 2%, consumo de lenha na caldeira de 23%, consumo de energia de vapor de 21%, consumo de energia elétrica de 15%. A economia

advinda da redução de perdas, consumo de materiais e energia foi da ordem de R\$ 43.000,00 na média mensal, destacando-se como os valores mais representativos na economia o consumo de energia elétrica e a redução de perdas de matéria-prima.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos produtivos e auxiliares no caso estudado consomem matérias-primas, insumos, força de trabalho humano, energia elétrica, refrigeração e vapor, além de produzirem produtos e subprodutos. Um diagnóstico do grau de contribuição de cada elemento do processo relacionado ao consumo de matérias e energia e custos econômicos em um sistema produtivo é uma tarefa complexa. Na hipótese de implementação de todas melhorias propostas, o processo apresentou as principais reduções de: perdas de matéria-prima da ordem de 47%, consumo de água para vapor de 23%, consumo de ton/vapor de 2%, consumo de lenha na caldeira de 23%, consumo de energia de vapor de 21%, consumo de energia elétrica de 15%. A economia advinda da redução de perdas, consumo de materiais e energia foi da ordem de R\$ 43.000,00 na média mensal, destacando-se como valores mais representativos na economia o consumo de energia elétrica e a redução de perdas de matérias-primas.

As propostas apresentadas, apesar de representarem um volume intermediário de recursos necessários à implantação, demonstraram um resultado econômico que não deve ser desprezado: R\$ 516.000,00 anuais. A simulação de processos e sistemas se mostra uma ferramenta gerencial de impacto ao processo de tomada de decisões em sistemas complexos ou situações que envolvem grande gama de variáveis. Os ambientes industriais possuem vários fatores intervenientes e a utilização de variáveis dinâmicas possibilita responder às hipóteses que podem ser levantadas no processo decisório, vislumbrar efeitos deletérios, sinérgicos e não lineares no planejamento estratégico, tático ou na análise gerencial de rotina das operações envolvidas. A estrutura de dados, modelos e análises apresentadas são passíveis de serem utilizadas e expandidas em processos de gerenciamento de custos, análise de balanço hídrico, carga poluidora de efluentes e emissões, análises econômicas e financeiras de investimentos tecnológicos, possibilitando a identificação de elementos de perdas e de *paybacks* ocultos nos processos. No mercado de confeitarias, muitas vezes, as empresas competem por preços, e a performance dos processos passa a ser um elemento crucial para manutenção das margens e garantia de preços competitivos.

Os modelos desenvolvidos podem ser utilizados como ferramentas gerenciais para avaliação, monitoramento e melhoria dos processos produtivos. A modelagem em DS, pode, por fim, representar um avanço na gestão das atividades e um diferencial competitivo para o empreendimento.

## REFERÊNCIAS

- Archaina, D., Sosa, N., Rivero, R. & Schebor, C. (2019). Freeze-dried candies from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) and yoghurt. Physicochemical and sensorial characterization LWT. 100 p. 444-449.  
[http://hdl.handle.net/20.500.12110/paper\\_00236438\\_v100\\_n\\_p444\\_Archaina](http://hdl.handle.net/20.500.12110/paper_00236438_v100_n_p444_Archaina)
- Azevedo, S., M. Barros (2017), "The application of the triple bottom line approach to sustainability assessment: the case study of the uk automotive supply chain", *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 10 no.2 p. 286-322. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1996>
- Bantacut, T.; Novitasari, D. (2016). Energy and water self-sufficiency assessment of the white sugar production process in Indonesia using a complex mass balance model. *Journal of Cleaner Production*, v. 126, p. 478–492, jul. 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.092

- Brendler, E.; Brandli, L. L. (2011). Integração do sistema de gestão ambiental no sistema de gestão de qualidade em uma indústria de confecções. *Gestão & Produção*, v. 18, n. 1, p. 27–40, 2011.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000100003>
- Briceño-León, M., Pazmiño-Quishpe, D., Clairand, J-M. & Escrivá-Escrivá, G. (2021). Energy Efficiency Measures in Bakeries toward Competitiveness and Sustainability—Case Studies in Quito, Ecuador. *Sustainability*, v. 13, n. 9, p. 5209, jan. <https://doi.org/10.3390/su13095209>
- Davis, M. L. & Masten, S. J. (2016). *Princípios de Engenharia Ambiental*. McGraw Hill Brasil.
- Gabisa, E. W., Bessou, C.; Gheewala, S. H. (2019). Life cycle environmental performance and energy balance of ethanol production based on sugarcane molasses in Ethiopia. *Journal of Cleaner Production*, v. 234, p. 43–53, out. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.199>
- Golroudbary, S. R. & Zahraee, S. M. (2015). System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 53, p. 88–102, abr. DOI:10.1016/j.simpat.2015.02.001
- Guerrero, A. B. & Muñoz, E. (2018). Life cycle assessment of second generation ethanol derived from banana agricultural waste: Environmental impacts and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 710–717, fev. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.298>
- Hamzadayi, A. & Yildiz, G. (2016). Hybrid strategy based complete rescheduling approaches for dynamic m identical parallel machines scheduling problem with a common server. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 63, p. 104–132, abr. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.02.010>
- Keramydas, C., Mallidis, I., Dekker, R. et al. (2017). Cost and environmental trade-offs in supply chain network design and planning: the merit of a simulation-based approach. *J Simulation* 11, 20–29 (2017).  
<https://doi.org/10.1057/s41273-016-0031-z>
- Khanali, M., Movahed, M., Yousefi, M., Jahangiri, S. & Khoshnevisan, B. (2016). Investigating energy balance and carbon footprint in saffron cultivation – a case study in Iran. *Journal of Cleaner Production*, v. 115, p. 162–171, mar. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.013>
- Kittichotsatsawat, Y., Jangkrajarn, V. & Tippayawong, K. Y. (2021). Enhancing Coffee Supply Chain towards Sustainable Growth with Big Data and Modern Agricultural Technologies. *Sustainability*, v. 13, n. 8, p. 4593, jan. <https://doi.org/10.3390/su13084593>
- Martins, E. (2010). *Contabilidade de custos*. São Paulo. Editora Atlas S.A.
- Marulanda-Grisales, N. & Figueroa-Duarte, O. D. (2021). Classifying and studying environmental performance of manufacturing organizations evidence from Colombia. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, p. 123845, jan. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123845
- Merino-Saum, A., Clement, J., Wyss, R. & Baldi, M. G. (2020). Unpacking the Green Economy concept: A quantitative analysis of 140 definitions. *Journal of Cleaner Production*, v. 242, p. 118339, 1 jan. 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118339
- Mourad, M. (2016). Recycling, recovering and preventing “food waste”: competing solutions for food systems sustainability in the United States and France. *Journal of Cleaner Production*, v. 126, p. 461–477, jul. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.084>
- Rahmandad, H. (2015). Connecting strategy and system dynamics: An example and lessons learned. *System Dynamics Review*, v. 31, p. n/a-n/a, 1 jul.. DOI:10.1002/SDR.1541
- Rödger, J-M., Beier, J., Schönemann, M., ... & Hauschild, M. Z (2021). Combining Life Cycle Assessment and Manufacturing System Simulation: Evaluating Dynamic Impacts from Renewable Energy Supply on Product-Specific Environmental Footprints. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 8, n. 3, p. 1007–1026, maio 2021. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00229-z>
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World*. [http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=013598/\(100\)](http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=013598/(100)), v. 19, 1 jan.
- Ugarte, G. M., Golden, J. S. & Dooley, K. J. (2016). Lean versus green: The impact of lean logistics on greenhouse gas emissions in consumer goods supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, v. 22, n. 2, p. 98–109, jun. DOI: 10.1007/s40684-020-00229-z
- Waas, T., Hugè, J., Block, T. et al. (2014). Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability*, v. 6, n. 9, p. 5512–5534, 25 ago. 2014. DOI: 10.3390/su6095512
- Wolf, B. (2016). *Confectionery and Sugar-Based Foods*. In: Reference Module in Food Science. Elsevier, 2016. p. ISBN: 9780081005965036000.
- Xian, Y., Yang, K., Wang, K. et al. (2019). Cost-environment efficiency analysis of construction industry in China: A materials balance approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 221, p. 457–468, jun. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.266>