

# AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS: APLICANDO A DINÂMICA DE SISTEMAS EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

ECONOMIC EVALUATION OF INDUSTRIAL PROCESSES:  
APPLYING SYSTEM DYNAMICS IN A FOOD INDUSTRY

JOSÉ EDSON LARA  
jedson.lara@hotmail.com  
Fundação Pedro Leopoldo  
<https://orcid.org/0000-0001-6120-075X>

EDUARDO RIBEIRO MARTINS  
eduribeiomartins@hotmail.com  
IETEC/MG  
<https://orcid.org/0009-0007-7163-9476>

TARCÍSIO AFONSO  
professortarcisioafonso@gmail.com  
Fundação Pedro Leopoldo – FPL  
<https://orcid.org/0000-0003-3238-0944>

PEDRO BARBOSA BAHIA  
pedrobahia7@hotmail.com  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)  
<https://orcid.org/0009-0009-3222-6227>

## RESUMO

**Objetivo:** aplicar a Dinâmica de Sistemas [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 os custos associados.

**Proposta:** realizar a simulação de cinco cenários em um modelo computacional elaborado na plataforma do software AnyLogic® na versão PLE, para avaliar resultados que levem a possíveis modificações nos processos industriais.

**Abordagem teórica:** a ênfase do estudo consistiu na aplicabilidade do modelo adotado, para a formulação das simulações, avaliando construtos da Microeconomia, para a otimização de resultados operacionais em uma indústria.

**Provocação:** como descrever processos industriais futuros, mediante simulações concernentes à redução de perdas nos processos, assim como à redução no consumo de *inputs*?

**Procedimentos metodológicos:** foram utilizados dados documentais de indústria de porte médio de Minas Gerais, nos meses de fevereiro e março de 2024 estudando os processos e simulações de resultados em cinco cenários.

**Principais resultados:** a execução das simulações permitiu verificar a ocorrência de reduções das perdas de matéria-prima em 47%, consumo de água para vapor em 23%, consumo de ton/vapor em 2%, consumo de lenha na caldeira em 23%, consumo de energia de vapor em 21% e consumo de energia elétrica em 15%.

**Conclusões:** constatou-se que as plataformas permitem a construção e validação de modelos utilizáveis como recursos tecnológicos gerenciais inovadores para avaliação, monitoramento e melhoria dos processos produtivos, representando um avanço na gestão operacional, com validade para efetuar simulações em Engenharia de Sistemas, Engenharia de Processos e Gestão da Produção Industrial.

**Palavras-chave:** Simulação. Modelagem. Dinâmica de sistemas. Indústria de alimentos.

## ABSTRACT

---

**Objective:** to apply System Dynamics [SD] to analyze a production process in the confectionery food industry, considering aspects such as consumption of materials, water, energy, losses and finished products, as well as associated costs.

**Proposal:** to simulate five scenarios in a computational model developed on the AnyLogic® software platform in the PLE version, to evaluate results that lead to possible modifications in industrial processes.

**Theoretical approach:** the emphasis of the study consisted of the applicability of the adopted model, for the formulation of simulations, evaluating Microeconomic constructs, for the optimization of operational results in an industry.

**Provocation:** how to describe future industrial processes, through simulations concerning the reduction of losses in the processes, as well as the reduction in the consumption of inputs?

**Methodological procedures:** documentary data from a medium-sized industry in Minas Gerais were used in the months of February and March 2024, studying the processes and simulating results in five scenarios.

**Main results:** the execution of the simulations allowed verifying the occurrence of reductions in raw material losses by 47%, water consumption for steam by 23%, ton/steam consumption by 2%, wood consumption in the boiler by 23%, steam energy consumption by 21% and electricity consumption by 15%.

**Conclusions:** it was found that the platforms allow the construction and validation of models that can be used as innovative management technology resources for evaluating, monitoring and improving production processes, representing an advance in operational management, with validity for carrying out simulations in Systems Engineering, Process Engineering and Industrial Production Management.

**Keywords:** Simulation. Modeling. System dynamics. Food industry.

"EM MEMÓRIA DO PROF. DR. EDUARDO TRINDADE BAHIA,  
ORIENTADOR DA DISSERTAÇÃO ORIGINAL DESTES ARTIGOS".

# 1 INTRODUÇÃO

A economia associada ao ambientalismo tem sido uma temática apresentada às literaturas acadêmicas e executivas como relevante, sendo objeto de investigação com frequência crescente. Afinal, este constitui um espaço substantivamente destacado no contexto dos estudos em Microeconomia Contemporânea. Neste sentido, Kittichotsatsawat, Jangkrajarn e Tippayawong (2021) destacam a necessidade de uma gestão moderna, fundamental em termos de economia, em que a segurança alimentar, o controle de qualidade e práticas ambientalmente corretas não sejam negligenciadas.

Rödger *et al.* (2021) consideram que a ecoeficiência dos processos 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 subotimidade ou redução de eficiência. Esta mesma constatação é referenciada por Kumar, Kaur *et al.* (2024) e Leão, Santos *et al.* (2024).

Nesse 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, sendo que 9 bilhões de pessoas necessitarão de 13,5 bilhões de toneladas de alimentos, o que confirma a relevância desse 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 desses seres (Dibbern, Romani & Massruhá, 2024).

Um dos segmentos mais notórios desse setor é a indústria de confeitaria, que compreende chocolates, balas ou gomas, castanhas e nozes. A visibilidade deste setor se manifesta nos âmbitos econômicos e sociais, conforme dados a seguir. Para Antunes *et al.* (2024), estes tipos de produtos apresentam significativa popularidade e aceitabilidade no meio social. Entretanto, são percebidos como inadequados para a alimentação humana, em razão da elevada concentração de açúcar e de aditivos que determinam o comprometimento da saúde de seus consumidores. Para Barbosa *et al.* (2018), a população em geral vem se conscientizando sobre o consumo de produtos que determinam condições de vida mais saudáveis. Para Esse cenário abre espaço para as indústrias de confeitaria, balas, chicletes e doces que, segundo Kamil *et al.* (2021), a indústria vem se ajustando a esse novo propósito dos consumidores. Economicamente, segundo dados da Brasil Sweets and Snacks, (2021), o segmento de balas chega a produzir 378 mil toneladas ano. Além disso, a capacidade de produção e o mercado de consumo fazem do Brasil o 6º maior mercado de confeitaria do mundo, e a indústria de confeitaria brasileira representa um mercado de aproximadamente US\$ 26,4 bilhões, empregando mais de 42 mil funcionários diretamente.

Nesse sentido, muitas indústrias não se adaptaram para a sustentabilidade na produção e fabricação e têm enfrentado dificuldades para medir sua sustentabilidade (Hassini, Surti, & Searcy, 2012). Tendo em vista a relevância das questões ambientais, é essencial entender quais práticas levam a uma sinergia negativa entre desempenho operacional e ambiental (Ugarte, Golden, & Dooley, 2016).

Os sistemas de manufatura são considerados sistemas complexos, dinâmicos e estocásticos, com uma ampla variedade de produtos, processos, níveis de produção e problemas inesperados (Hamzadayi & Yildiz, 2016), com vínculos complexos de trabalho e aderência a cumprimento de metas muitas vezes inconsistentes (Oliveira e Lavarda, 2023). Nessa direção, a DS ajuda as pessoas na compreensão e entendimento do comportamento entre sistemas complexos (Golroudbary & Zahraee, 2015).

Frente a esse contexto, neste estudo tem como objetivo aplicar a dinâmica de sistemas [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 os custos associados.

Espera-se assim contribuir ao avanço do conhecimento na fronteira dos estudos sobre a mensuração de processos eficientes, que se constitui em um fundamento da Microeconomia, por meio da aplicação de uma metodologia de estabelecimento de cenários estratégicos no setor industrial alimentício. Esta metodologia vem se demonstrando como bastante robusta e prática para a realização de estudos sobre processos quânticos sofisticados em gestão. Ao mesmo tempo, pretende-se contribuir ao espectro de estudos pragmáticos, com a oferta de um conteúdo com potencial de usabilidade no âmbito das corporações, em estudos e definição de estratégias de melhoria de eficiência. Afinal, observa-se uma lacuna importante na literatura sobre este tema, na forma em que é explorado neste trabalho (Rani, Pesole & Gonzalez-Vazquez, 2024).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A Dinâmica de sistemas e os impactos ambientais

O modelo da Dinâmica de Sistemas (DS) consiste em uma estrutura metodológica construída para se estudar e estimar cenários nos mais diversos ambientes, com amplos potenciais para se aprofundar o conhecimento de sistemas e contextos complexos, tais como os que são estudados por Vieira, Martins e Gonçalves (2014). O desenvolvimento de modelos aplicáveis a situações específicas normalmente requer um processo extenso, que envolve a identificação de variáveis problemáticas, o desenvolvimento da estrutura do respectivo sistema e a análise do comportamento dinâmico das variáveis, juntamente com tarefas de validação em cada uma dessas etapas (Sterman, 2000 e Langley & Rieple 2024).

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. Para Keramydas, Mallidis, Dekker, Vlachos e Iakovou (2017), a complexidade dos modelos analíticos relevantes aumenta significativamente quando critérios adicionais de impacto ambiental são incorporados aos processos analíticos.

A metodologia da Dinâmica de Sistemas vem sendo utilizada intensamente, como recurso sólido para se identificar e formular os mais diversos tipos de cenários, nas mais diversas disciplinas. Como consequência, a literatura sobre esta metodologia vem sendo substancial-

mente enriquecida (Langley & Rieple, 2024) e Mariono, Syaharuddin, Fadugba, & Abdillah (2024). Morecroft (2015) apresenta a aplicabilidade da metodologia da Dinâmica de Sistemas em diversas áreas de atividades, demonstrando sua exequibilidade, praticidade, amplitude e robusta consistência metodológica.

Pela sua amplitude pragmática, a Dinâmica de Sistemas demonstra sua efetividade nos estudos referentes aos aspectos e impactos ambientais inerentes às atividades antrópicas em maior ou menor grau, relevantes nas atividades de manufatura (Morecroft, 2015). A mensuração, avaliação e gerenciamento dos impactos ambientais apresentam importante papel no controle ambiental, como contenção de externalidades, sendo tarefas essenciais como verificação de eficiência econômica do sistema industrial (Ferreira, Caldana et al., 2023). Nessa direção, os sistemas de produção não podem existir isolados das instalações que os sustentam ou dos edifícios que os rodeiam, assim, eles têm impactos significativos na sustentabilidade ambiental (Sehnm, Vazquez-Brust, Pereira & Campos, 2019 e Ferreira, Caldana et al., 2023).

Marulanda-Grisales e Figueroa-Duarte (2021) consideram que a estrutura econômica de um país é composta por diferentes organizações, que determinam a distribuição de recursos necessários a essas atividades. Tal estrutura exerce um efeito crucial na utilização de recursos naturais que resultam em impactos ambientais, como mudanças climáticas, impactando sistemas sociais. Rödger *et al.* (2021) destacam que a manufatura desempenha um papel importante no desenvolvimento da economia global. Entretanto, contribui para uma grande parte da poluição ambiental, afetando a saúde humana.

Estes impactos vêm sendo fortemente ressaltados nas literaturas sobre o tema, assim como nos mais diversos fóruns políticos, econômicos e sociais, em todo o mundo. Nesse sentido, a economia ambiental parte de métodos para quantificar os impactos ambientais em termos monetários, o que permite uma análise mais consistente de seus custos e benefícios, em um contexto de sistemas complexos, tais como descrevem Rosa, Bobsin, Pivetta e Scherer (2023). Todo este cenário orientado a causas ambientais, vem gerando novos modelos gerenciais, como a ESG, Hélice Quíntupla e outros, tornando seus sistemas mais compreensíveis e passíveis de intervenções destinadas às melhorias das condições de vida e de sustentabilidade econômica e social.

## 2.2 Balanço de massa, consumo e custos de perdas de energia

Os temas do balanço de massa e de energia vêm sendo intensamente estudados nas mais diversas disciplinas, como na física, na química e na biologia, neste último caso, notadamente nas cordições corporais de humanos (Martin, Zimmer, Grimm & Jage, 2012). Os estudos, em geral, indicam a realização de inventários que levam ao conhecimento detalhado dos processos dinâmicos de produção, nas mais diversas áreas de atividades. Este tema tem se constituído em uma base fundamental para estudos sobre a Microeconomia de setores industriais.

Nos estudos sobre a identificação, quantificação e tratamento de resíduos em geral, as técnicas permitem, não apenas identificar pontos de sua produção e destinação, mas também as quantidades de materiais que circulam em um sistema, destacando os pontos críticos de desperdícios de matéria-prima ou produção de resíduos (Costa & Gonçalves, 2022 e Forti, Baldé, Kuehr & Bel, 2020).

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 em que é realizado o balanço do saldo de uma conta bancária, subtraindo-se os valores dos cheques que foram emitidos pelos depositados. Da mesma forma, o fluxo de massa ocorre em algum momento do sistema dinâmico em processo. Assim, para eles, o balanço de massa é representado por:

$$\text{Produto} + S + R = (\text{MP1} - S1 - R1) + (\text{MP2} - S2 - R2) \quad (1)$$

$$M + RC2 = R1 + P1 \quad (2)$$

$$\text{"Eficiência} = \text{" "P1" / "P1} + R1" \quad (3)$$

Em que:

P = produto; S = subproduto; R = resíduo; MP = matéria-prima.

O balanço energético líquido (do inglês, *net energy balance* – NEB) consiste na diferença entre o total da produção de energia do sistema e o consumo total de energia ao longo do ciclo de vida do produto ou de um processo produtivo. De um modo geral, o NEB deve ser positivo, ocorrendo um ganho de energia líquida (Gabisa, Bessou, & Gheewala, 2019).

Neste estudo foram utilizados os cálculos de consumo energia e os custos relacionados à detecção de perdas em alguns processos. Foram abordados aspectos e medidas necessárias à melhoria da eficiência na utilização de energia desses processos, por meio da metodologia da Dinâmica de Sistemas.

O tema dos custos já vem sendo intensamente estudado em todas as literaturas, há muitas décadas (Stroparo, Araújo, Bortolotti & Lacerda Júnior, 2024). Portanto, já é clássico nos estudos em Economia e Gestão. Entretanto, para os autores acima, os estudos já vêm recebendo vasta contribuição da Inteligência Artificial, em suas apurações, análises e contribuições às tomadas de decisões. As organizações estão, como nunca, desenvolvendo estratégias e ações destinadas à redução de custos, visto que as margens de lucros se demonstram cada vez mais restritivas em quase todos os setores da economia.

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). Para Montevechi, Costa, Leal e Pinho (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 com precisão, uma vez que certamente impactam, cada vez mais significativamente na lucratividade operacional, notadamente em indústrias do ramo alimentício (Klaus & Scherer, 2017).



## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 3.1 Caracterização da empresa em estudo

Foi realizada uma pesquisa descritiva com dados documentais secundários em uma confeitaria de médio porte, situada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. As consultas foram realizadas no período de fevereiro a março de 2024. A indústria emprega aproximadamente 400 funcionários, entre gerentes, pessoal com funções administrativas e os especializados em produção operacional, sendo todos eles experientes em indústria alimentícia. A indústria atua com a denominada tecnologia de domínio comum. Portanto, não é inovadora tecnologicamente, desenvolvendo a produção por meio de *batch cooker*, ou "fogão em lote", em tradução literal livre. As inovações podem ser consideradas como básicas, convergindo para produtos com composições diferenciadas de ingredientes estéticos e nutricionais, assim como de design de produtos. A empresa concordou em disponibilizar todos os dados necessários, e os pesquisadores desenvolveram a metodologia de estudos e formulação dos critérios próprios para as simulações dos cenários estratégicos, mediante a tecnologia de conhecimentos disponíveis para se processar a Dinâmica de Sistemas, com o software AnyLogic\*. A preparação dos dados necessários às simulações de cenários é apresentada nas próximas sessões deste estudo.

### 3.2 Descrição e aplicação dos processos industriais, desta pesquisa

Os resultados apresentados neste trabalho foram desenvolvidos com o suporte em fluxogramas do processo produtivo de uma planta industrial real com proteção dos dados, 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 considerados, no momento das coletas, dentro dos limites do sistema de produção pertinente à indústria. Portanto, foram verificados por meio de registros de informações dos processos, como diagramas de produção, relatórios de geração de resíduos, efluentes e emissões, entre outros. A partir deles, foi possível a elaboração dos diagramas e fluxogramas pertinentes à produção.

A tecnologia do conhecimento em Dinâmica de Sistemas foi utilizada para a realização de análises por meio dos recursos e ferramentas de balanço de massa, energia e custos, possibilitando a identificação de oportunidades de melhorias, e mais assertividade para o processo decisório.

Nesta pesquisa, o processo produtivo e as variáveis relacionadas ao consumo de matérias-primas, insumos e água, apresentam o nível de eficiência na transformação de materiais e serviços em produtos acabados. Os dados da produção, referentes ao consumo de energia, água, geração de resíduos e efluentes possibilitam a análise do impacto e desempenho ambiental dessa atividade em determinados níveis operacionais.

A descrição preliminar das matérias-primas e do processo produtivo são apresentados a seguir. Assim, o fluxograma elaborado para a primeira fase do estudo considerou a adição de matérias-primas e embalagens em cada etapa do processo para a fabricação de um produto. O processo produtivo compreende a adição de matérias-primas e embalagens em cada etapa do processo, com destaque para a adição de água, açúcar e glucose no pré-aquecimento, no momento em que ocorre o pré-cozimento e a formação da calda. A calda é produzida na etapa

de cozimento, até atingir ao ponto de massa. Na etapa de temperagem, são adicionados aditivos e, em seguida, são adicionadas embalagens primárias e secundárias no processo de embalagem. Os produtos são empacotados e pesados no processo de empacotamento. Por fim, são acondicionados em caixa de papelão para embarque no local onde o produto se encontra acabado. Na Tabela 1 é apresentada a relação das matérias-primas consumidas no processo produtivo e o custo representado pelo valor em reais por quilo.

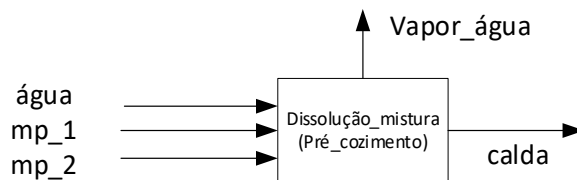
Tabela 1. Relação de matérias-primas e o valor de compra por kg

Matérias-primas	Valor (R\$/kg)
Matéria-prima 1	1,64
Matéria-prima 2	1,60
Matéria-prima 3	8,07
Matéria-prima 4	6,13
Matéria-prima 5	32,40
Matéria-prima 6	99,02
Embalagem primária	20,05
Embalagem secundária	11,19
Embalagem pacote	20,01
Caixa de papelão	3,47
Fita adesiva	15,15

### 3.3 Modelagem da massa no processo produtivo

A tecnologia da Dinâmica de Sistemas foi utilizada para simular o fluxo de massa e energia 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, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Inventário de entradas e saídas



A partir da elaboração dos fluxogramas, da obtenção dos parâmetros de processo e da definição das equações, os modelos em DS foram elaborados no software AnyLogic®, versão PLE.



### 3.3.1 Balanço de massa

Os cálculos do modelo do balanço de massa foram desenvolvidos a partir das equações descritas por Giannetti e Almeida (2006), e adaptadas para o processo de confeitaria.

$$M_{saída} = M_{entrada} + P \quad (4)$$

Em que::

$M_{saída}$  = massa de saída em kg;  $M$  = material de entrada em kg;

$P$  = perda de material de entrada em kg.

$$P = M_{entrada} \times Tx_{perda} \quad (5)$$

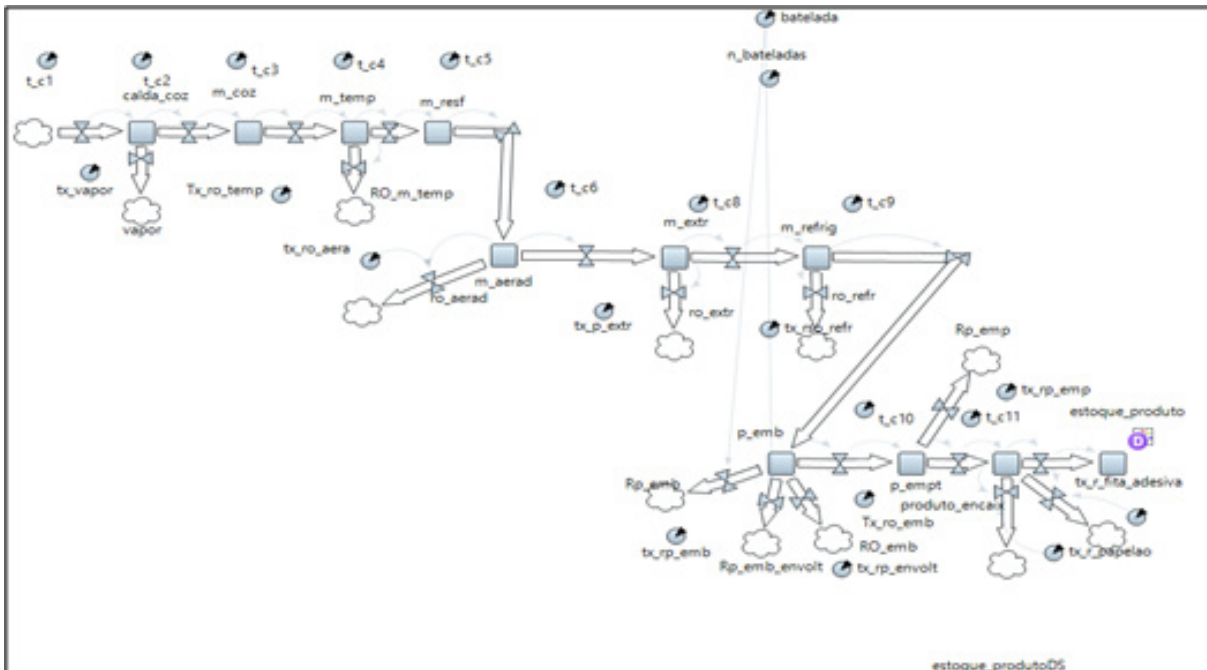
Em que:

$Tx_{perda}$  = taxa de perda matéria de entrada em coeficiente.

### 3.3.2 Submodelo consumo de matérias-primas

As equações relacionadas ao balanço de massa do processo produtivo em suas diferentes etapas foram desenvolvidas a partir das Equações 4 e 5. A Figura 2 mostra o diagrama de bloco do submodelo consumo de matérias-primas utilizando o software AnyLogic\*.

Figura 2. Diagrama de bloco do submodelo consumo de matérias-primas



O submodelo acima demonstra os fluxos de entrada e saída de matérias-primas e produto em processo em cada etapa do processo produtivo e as respectivas taxas auxiliares, que alteram esses fluxos, compreendendo tempos de ciclo e taxas de perdas de materiais.

A Figura 3 apresenta o diagrama de bloco do submodelo consumo de matérias-primas, e a Figura 4 traz o submodelo para quantificar a geração de resíduos recicláveis de embalagens.

Figura 3. Diagrama de bloco do submodelo consumo de matérias-primas

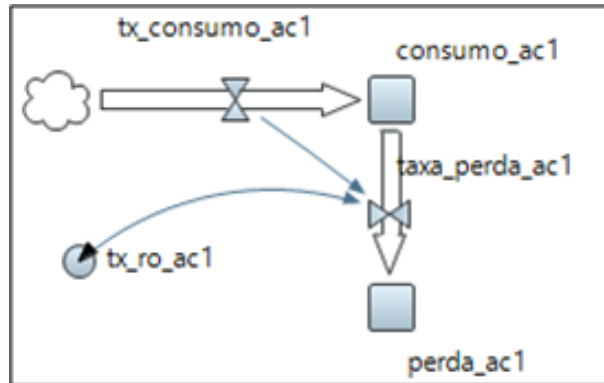
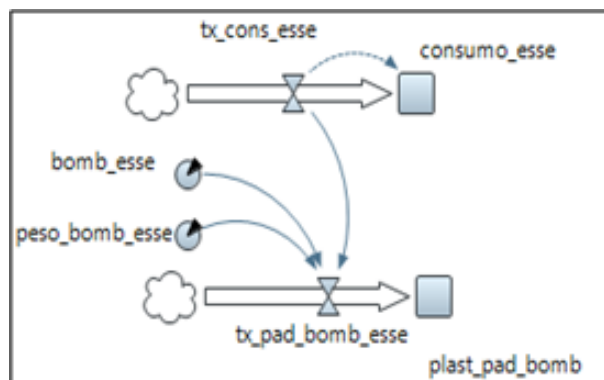


Figura 4. Diagrama de bloco do submodelo geração de resíduos recicláveis



### 3.4 Consumo de energia

Neste estudo foram abordadas duas fontes de energia: vapor produzido por meio da caldeira de biomassa e a energia elétrica fornecida pela concessionária local.

#### 3.4.1 Produção de vapor

A produção de vapor conta com a utilização de biomassa, oriunda de lenha plantada (eucalipto), como material combustível. Dentro da caldeira, a água é aquecida em um ambiente fechado com pressão, produzindo vapor à temperatura de aproximadamente 150 °C. O vapor é distribuído para vários pontos de consumo no processo por meio de linhas de vapor.

A fórmula abaixo descreve os fatores relacionados à demanda e ao consumo de vapor.

$$E_{total\_ton\_vapor} = ((demanda\_vapor\_ton\_h * E_{ton\_vapor}) * (1 - Condensado)) * (1 - Coef\_isol\_t) \quad (6)$$

Em que:

$E\_total\_ton\_vapor$  = energia total de tonelada de vapor em (kcal/ton);

$demanda\_vapor\_ton\_h$  = a demanda de tonelada de vapor por hora em toneladas;

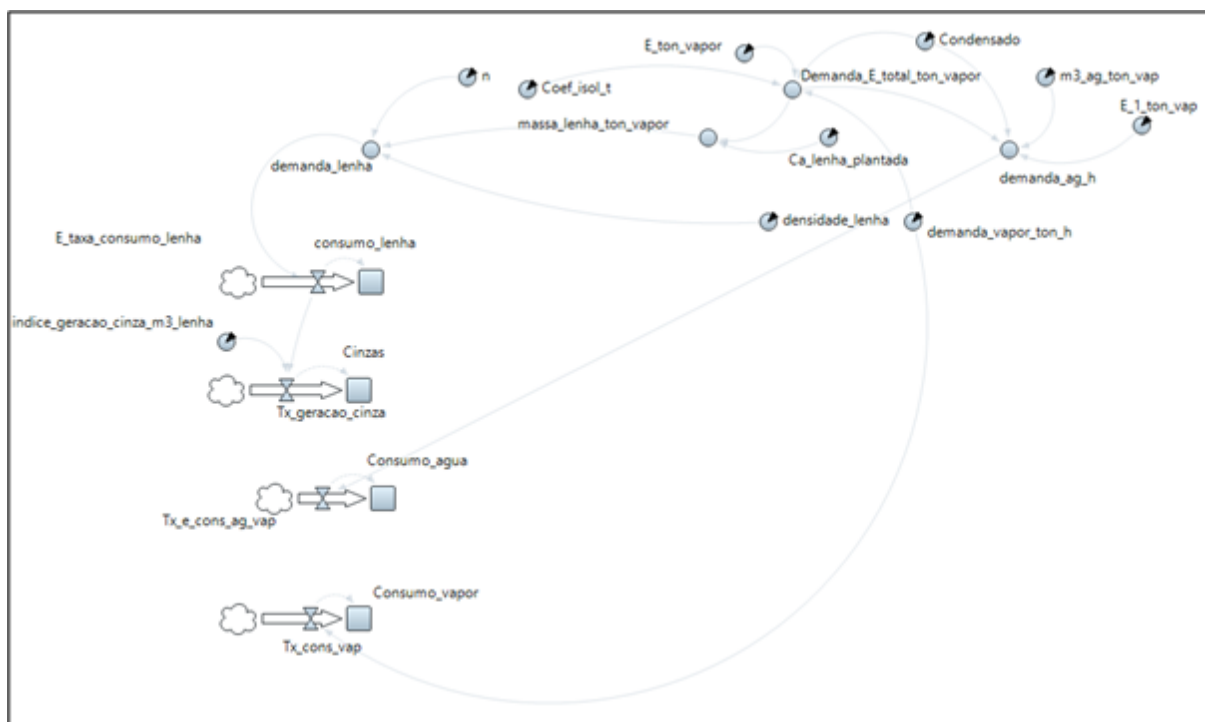
$E\_ton\_vapor$  = a energia de uma tonelada de vapor em kcal/ton;

Condensado = o percentual de aproveitamento de vapor do condensado;

Coef\_isol\_t = o coeficiente de redução de perda de vapor com aplicação do isolamento térmico no sistema de distribuição de vapor em percentual.

A Figura 5 apresenta o diagrama de blocos referente ao modelamento do processo de produção de vapor, em que os círculos representam variáveis, sendo que o círculo com ponta de seta as variáveis auxiliares, e os círculos simples, variáveis fixas. As variáveis representam os fatores de alterações nos fluxos de entrada e saída do sistema que determinam as variações das taxas, e os quadrados, os estoques referentes ao fluxo de entrada e, ou, saída do processo.

Figura 5. Modelamento do processo de produção de vapor



A Tabela 2 apresenta, de forma simplificada, os custos relacionados ao processo de produção de vapor por meio do custo do  $m^3$  de lenha e do tratamento do  $m^3$  de água.

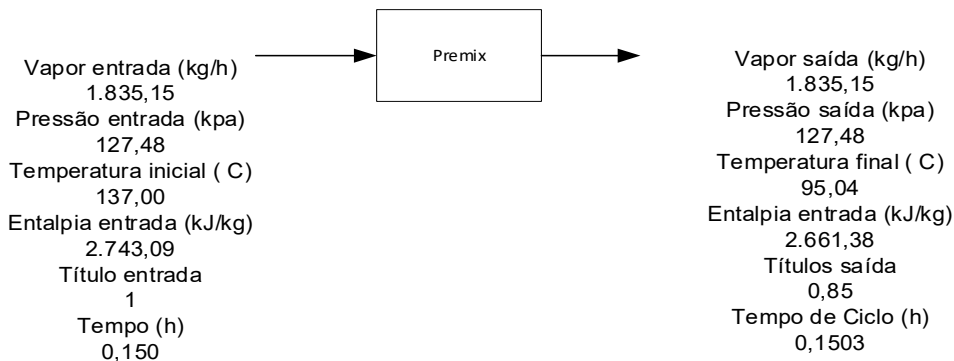
Tabela 2 – Custos de produção de vapor e destinação de resíduos

Materiais	Custo
Lenha ( $m^3$ )	R\$ 30,00
Água com tratamento ( $m^3$ )	R\$ 0,23

A análise do consumo de energia de vapor é verificada nos processos de pré-mistura, armazenamento de calda, derretimento de gordura e cozimento de massa, nos quais ocorrem a utilização de vapor oriundo de caldeira abastecida de biomassa de lenha plantada.

A Figura 6 traz o consumo de energia nos processos que consomem vapor, como cozimento, pré-mistura, tanque de armazenamento de calda e tanque de armazenamento de gordura.

Figura 6. Esquema de equipamento que utiliza vapor

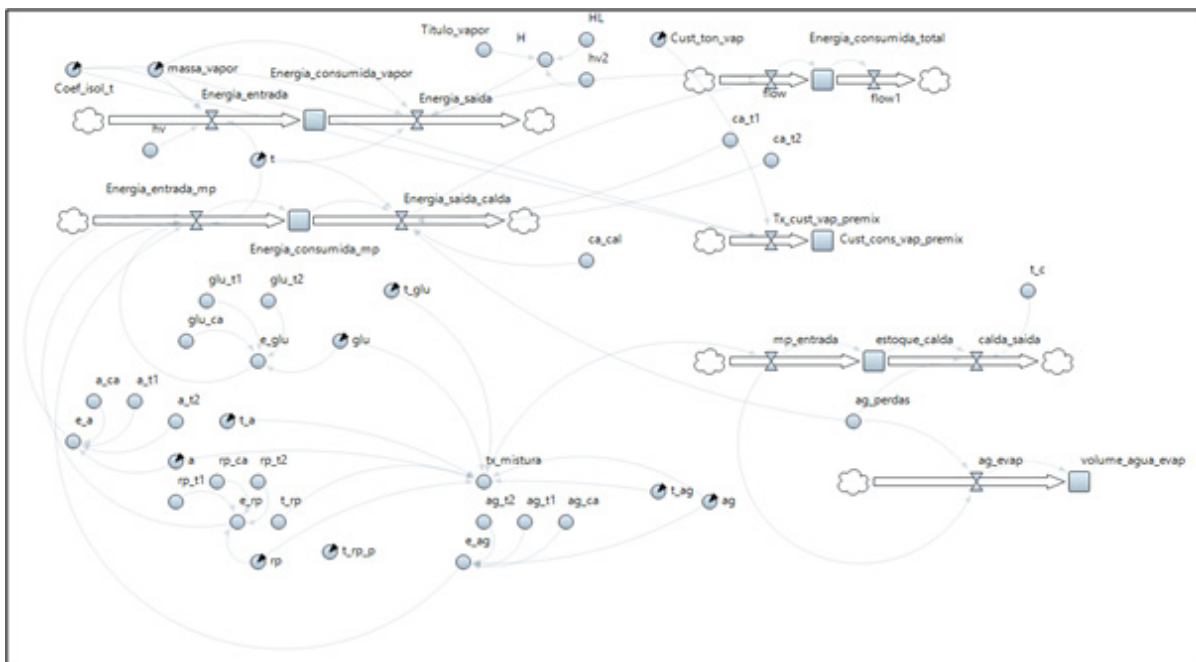


A Tabela 3 mostra as condições dos equipamentos consumidores de vapor apresentados na Figura 7, a seguir.

Tabela 3 – Parâmetros de consumo de vapor

Parâmetros/processos	Premix	Armazenamento de calda	Tanque de gordura	Cozimento
Vapor entrada (kg/h)	1.835,15	624,60	13,39	164,31
Vapor saída (kg/h)	1.835,15	624,60	13,39	106,20
Pressão entrada (kpa)	127,48	617,12	254,07	980,67
Pressão saída (kpa)	72,70	352,16	145,33	558,98
Temperatura inicial (C)	137,00	117,30	76,02	106,20
Temperatura final	95,04	86,60	59,05	90,10
Entalpia entrada (kJ/kg)	2.743,09	2.454,71	2.717,41	2.776,37
Entalpia saída (kJ/kg)	2.661,39	2.034,74	2.691,50	2.753,01
Título entrada	1,00	1,00	1,00	1,00
Título saída	0,85	0,85	0,85	0,85
Tempo de Ciclo (h)	0,15	0,05	0,42	0,08

Figura 7. Modelamento consumo de vapor



O consumo de vapor é representado pela energia fornecida ao sistema pela massa de vapor aplicada para o pré-aquecimento, assim como pela energia fornecida pela matéria-prima, onde podem ser verificadas as temperaturas iniciais e finais, bem como o calor específico. A calda produzida no processo de pré-cozimento é demonstrada no fluxo que apresenta o estoque de calda, onde o consumo se dá pelo tempo de ciclo do processo subsequente.

### 3.4.2 Consumo de energia elétrica

A energia elétrica consumida é distribuída pela concessionária local. O consumo de energia elétrica ocorre nos equipamentos eletromecânicos de diversos processos por meio da utilização de motores elétricos referentes a bombas, hélices para mistura, correias transportadoras, máquinas diversas em embrulho e empacotamento.

O consumo de energia elétrica dos equipamentos produtivos é dado por:

$$E\_E\_cons = (t * P) * (1 - Plc\_coefi\_red\_cons) \quad (7)$$

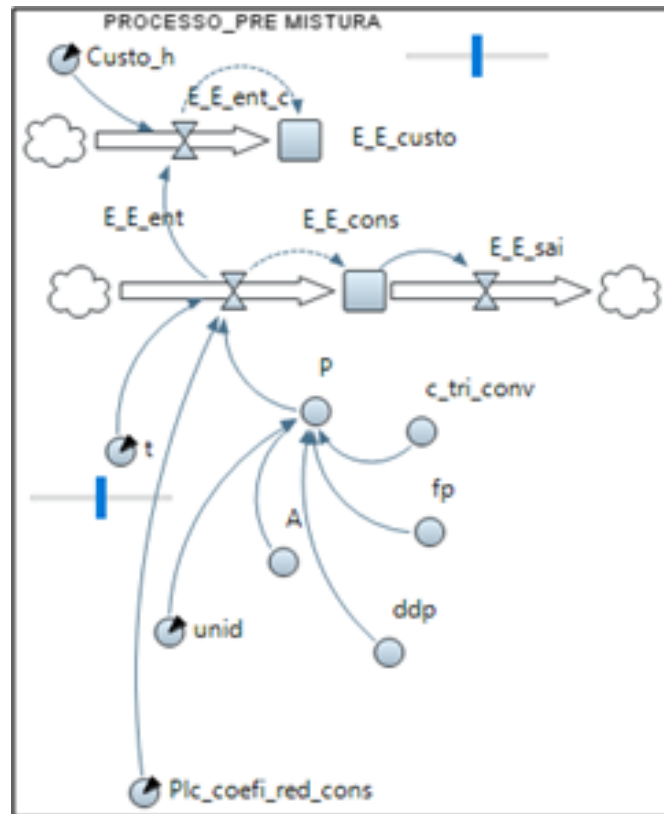
Em que:

$E\_E\_cons$  = energia elétrica consumida;

$t$  = tempo de utilização do equipamento em horas.

A Figura 8 traz o modelamento de consumo e custo de energia elétrica.

Figura 8. Modelamento consumo e custo de energia elétrica

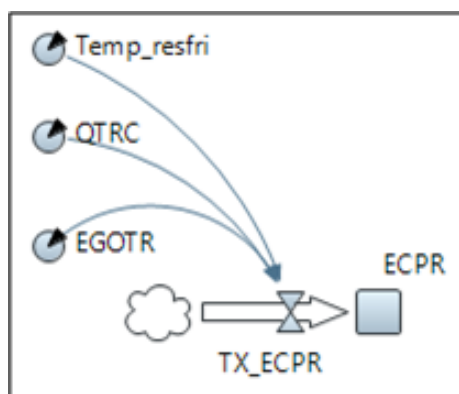


A Figura 8 apresenta o diagrama de blocos do consumo e custo de energia elétrica. Nele são utilizadas variáveis como fator de potência, amperagem, diferença de potencial para cálculo da potência e consumo de kW por hora do processo produtivo. Neste estudo, o custo do kw é de R\$ 0,11.

### 3.4.3 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. A Figura 9 traz esse modelamento.

Figura 9. Modelamento consumo e custos processos de resfriamento e refrigeração



O diagrama de blocos do submodelo de custos demonstra o custo da energia elétrica consumida nos processos de resfriamento e refrigeração por unidade de tempo relativa ao tempo de ciclo do processo produtivo.

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

Com finalidade de avaliar resultados de possíveis modificações nos processos, realizou-se a simulação nos submodelos propostos em cinco cenários, compreendendo quatro simulações em processos distintos e uma simulação considerando a implementação de todas as melhorias. Os resultados obtidos em cada cenário foram comparados com a situação atual dos processos para validação dos resultados e calibragem dos modelos. Os cenários foram simulados considerando oito horas de produção efetiva por dia durante os 12 meses do ano. A Tabela 4 traz a síntese dos cenários com as proposições de melhorias.

Tabela 4 Síntese dos cenários simulados com as proposições de melhorias

Cenário	Descrição	Processo	Ações	Reduções
1	Redução de perdas de matérias-primas e geração de resíduos sólidos	Perdas processo temperagem e resfriamento	Melhoria com integração das mesas, coletores de massa basculháveis	Redução da perda atual de 0,0002%
		Perdas processo de aeração	Melhorias no processo de programação de produção e fechamento das laterais do equipamento	Redução de 50% da perda
		Perdas processo embalagem	Melhoria do controle de parâmetros de cozimento, temperatura e umidade	Redução de 0,0017%
		Perdas processo de empacotamento	Melhoria na programação de produção e aumento de manutenções periódicas para maior precisão dos ajustes	Redução de perdas para 0,031%
2	Redução de perdas de vapor e redução do consumo de vapor	Perdas de vapor e temperatura em equipamentos de cozimento e tubulações por isolamento térmico incompleto	Melhoria com instalação de isolamento térmico em linhas e tubulações	Redução de 20% no consumo de vapor
3	Redução do consumo de energia elétrica	Equipamentos do processo produtivo permanecem ligados em intervalos de café e almoço	Melhoria com instalação PLC para desligamento automático em intervalos sem produção	Redução de 20% no consumo de vapor
4	Melhorias no sistema de refrigeração	Fontes de calor mal isoladas, oportunidades mais eficientes em tecnologia da planta de refrigeração	Melhoria com isolamento térmico, separação física de áreas quentes e frias e substituição da planta de refrigeração	Redução do consumo de energia elétrica em refrigeração de 34%
5	Implementação simultânea de todas as melhorias	Propostas nos cenários 1, 2, 3 e 4		



O estabelecimento destes procedimentos metodológicos, com seus respectivos critérios de definição de variáveis analíticas, permitiram a construção das simulações de cenários apresentados na próxima unidade deste estudo.

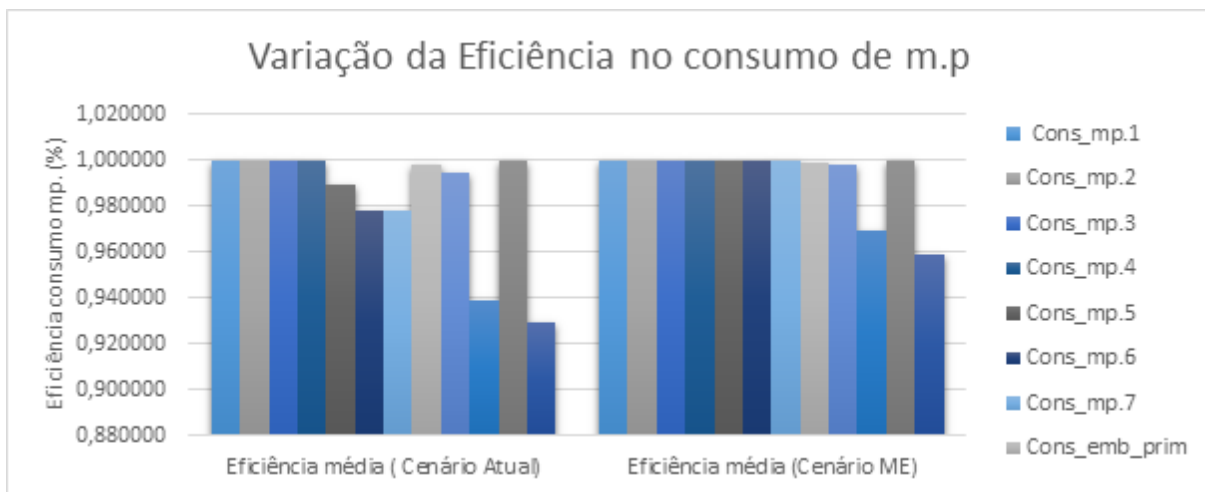
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O propósito essencial deste trabalho consiste na estimação de cenários estratégicos, por meio de simulações, tal como a plataforma AnyLogic\* permite, no contexto das possibilidades da Dinâmica de Sistemas. Assim, as simulações, assim como a análise de desempenho do processo, são apresentadas a seguir.

### 4.1 Simulação do cenário 1

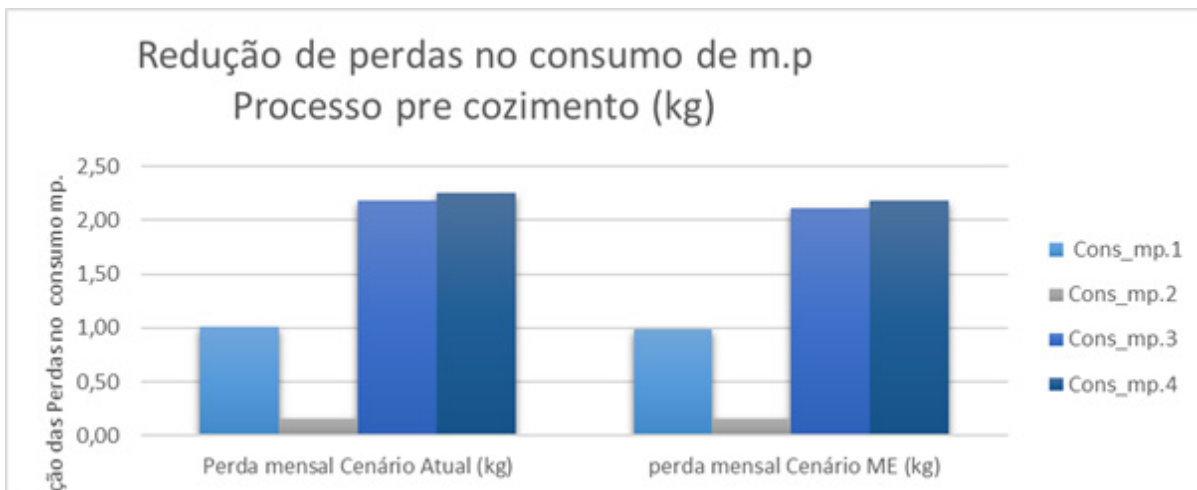
Esta simulação considerou o período de 12 meses, com tempo de produção líquido de produção de 8 horas/dia, de segunda a sexta-feira, a partir da qual verificaram-se as médias mensais. Por meio do gráfico apresentado na Figura 10, é possível verificar o aumento de eficiência no consumo de matérias-primas no processo produtivo, após a implementação de melhorias para redução de perdas. Vale destacar a redução de perdas de 57% no processo de embalagem e de 50% no empacotamento.

Figura 10. Variação da eficiência de matéria-prima



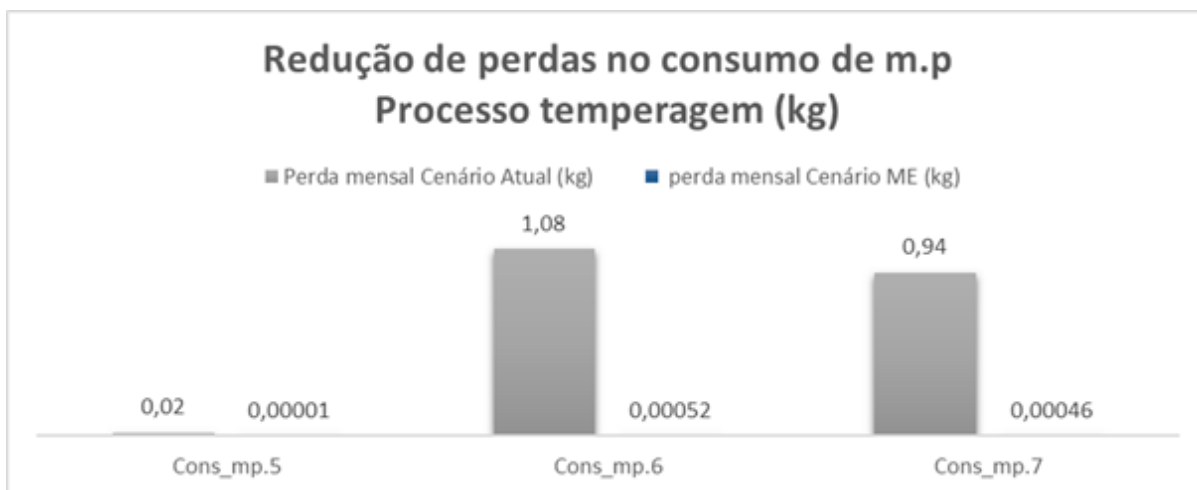
O consumo médio mensal de água para produção de vapor foi reduzido de 1.056,64 m<sup>3</sup> para 834,78 m<sup>3</sup>. A redução de perdas no processo produtivo leva indiretamente à redução de consumo de água presente no material em processo, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11. Redução de perdas no consumo de matéria-prima no processo pré-cozimento (kg)



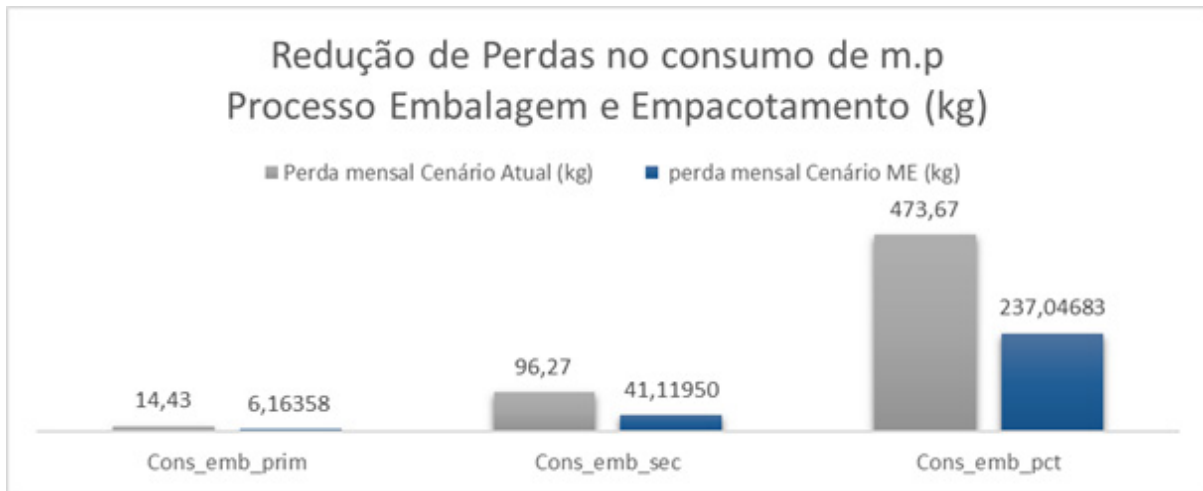
A Figura 12 demonstra uma redução de aproximadamente 99% das perdas no processo de temperagem.

Figura 12. Redução de perdas no consumo de matérias-primas no processo de temperagem (kg)



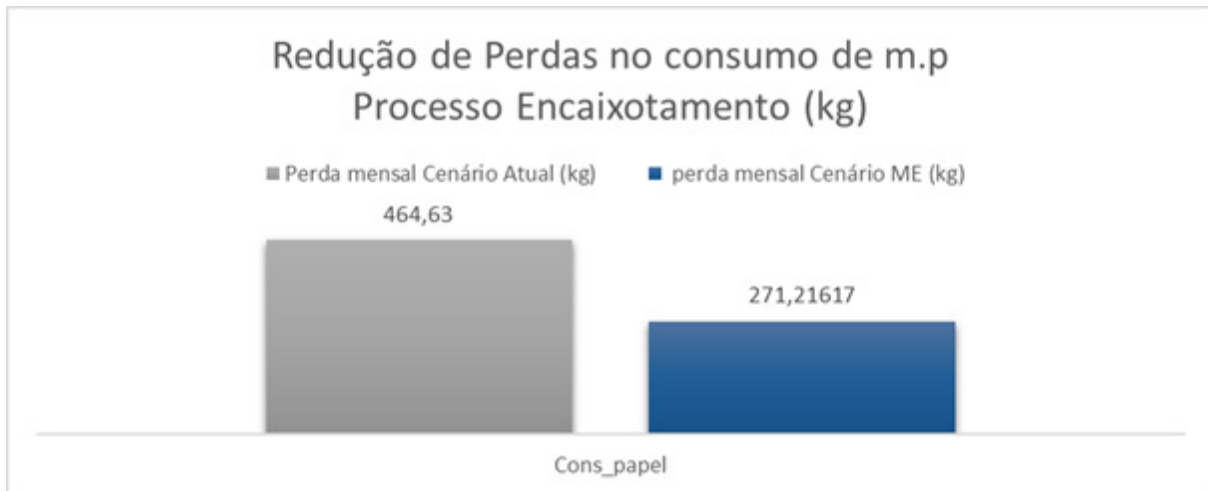
A Figura 13 demonstra as perdas de embalagens primárias e secundárias no cenário atual e reduções obtidas após a implementação de melhorias em ajustes de equipamentos e melhorias de padronização. Vale destacar a redução de 57% das perdas de embalagens e de 0,42% das perdas de papelão.

Figura 13. Redução de perdas no consumo de matéria-prima no processo de embalagem e empacotamento (kg)



A perda média mensal de matéria-prima foi reduzida de 464,63 kg para 271,22 kg no processo de encaixotamento a partir da implementação de proposições, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14. Redução de perdas no consumo de matérias-primas no processo de encaixotamento (kg)

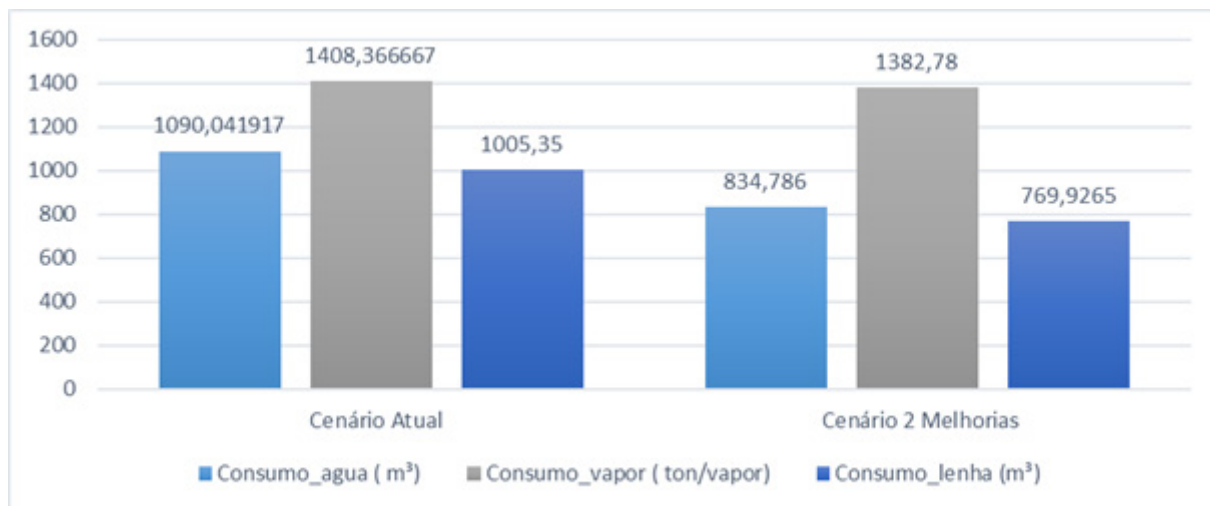


Por meio dos gráficos foi possível verificar que ocorre um aumento da eficiência no processo produtivo em relação ao consumo de matérias-primas e redução de perdas e geração de resíduos a partir das medidas implementadas para redução da geração de resíduos.

## 4.2 Simulação do cenário 2

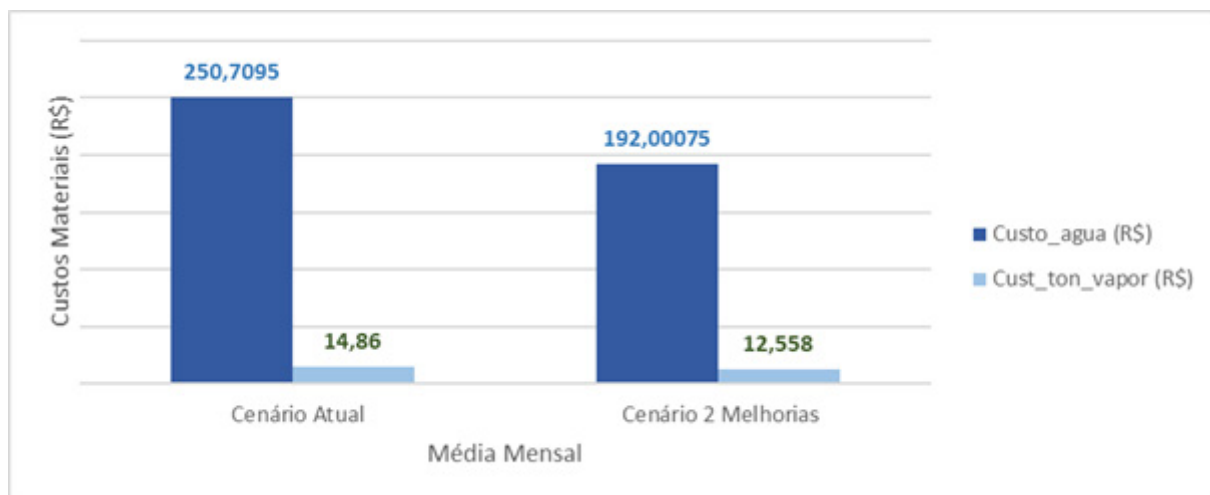
As referências ao estabelecimento ao cenário 2 são apresentadas a seguir, mediante os demonstrativos das figuras, assim como de suas análises sobre as reduções de custos de materiais consumidos na indústria. Na Figura 15 é apresentada a redução de consumo de materiais na geração de vapor.

Figura 15. Redução do consumo de materiais na geração de vapor



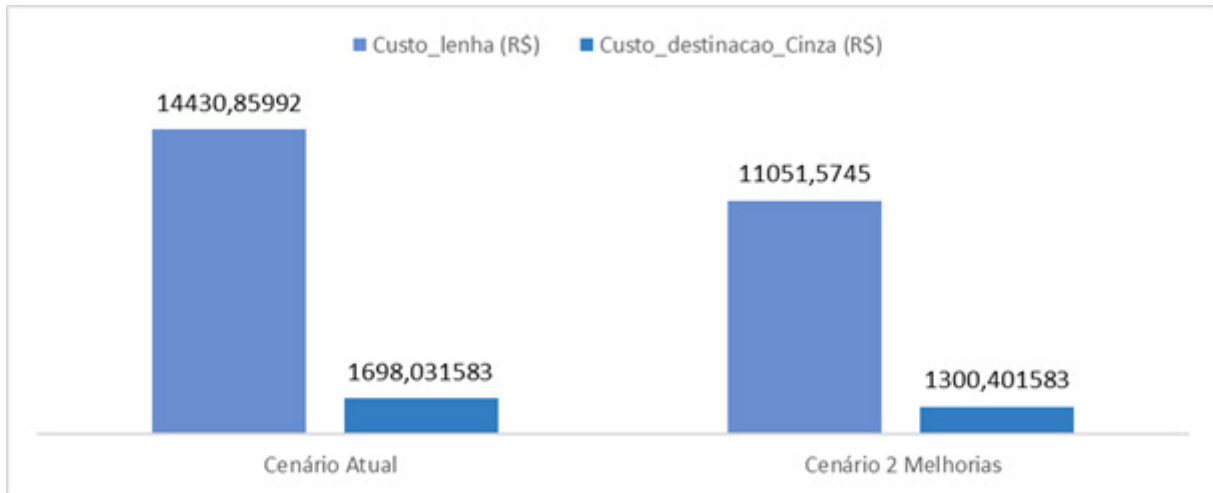
Na Figura 16 é apresentada a redução de consumo de lenha do cenário atual a partir das ações implementadas para redução de perdas de vapor no processo produtivo.

Figura 16. Redução no custo de materiais na geração de vapor



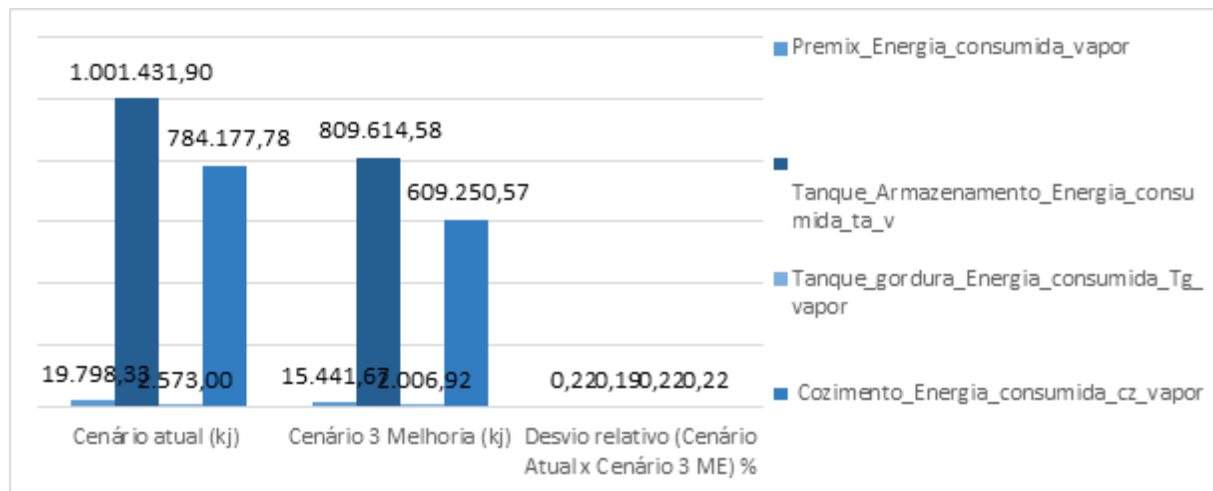
Na Figura 17 é apresentada a demonstração da redução dos custos de geração de vapor relacionados à lenha, água, produtos de tratamento de água, entre outros, e a redução obtida com a redução das perdas de consumo de vapor.

Figura 17. Redução dos custos de lenha e gastos de destinação de cinzas



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. A Figura 18 traz os gráficos que demonstram a redução do consumo de energia de vapor.

Figura 18. Redução do consumo de energia de vapor

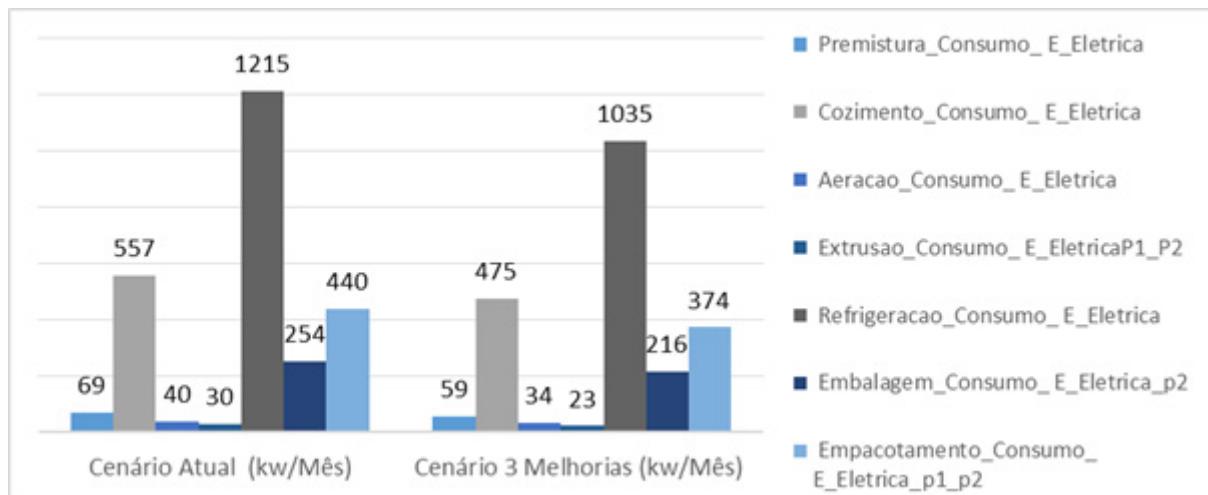


O vapor consumido nos processos de aquecimento de gordura foi reduzido de 6.835,26 vapor kg/h para 6.787,49 vapor kg/h. O vapor consumido no tanque de armazenamento de calda foi reduzido de 29.388,098 vapor kg/h para 23.759,312 vapor kg/h. A redução do custo mensal médio de consumo de vapor total no cenário 2 foi de R\$ 7.857,36 para R\$ 6.180,00.

### 4.3 Simulação do cenário 3

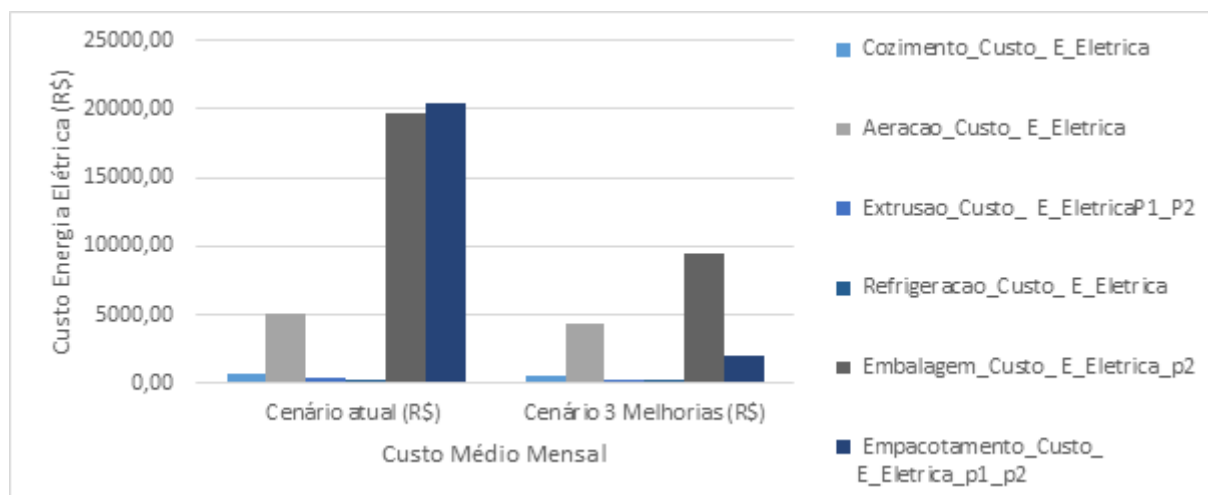
O cenário a seguir aborda o consumo de energia elétrica e a implementação de melhorias que promoveriam a redução do consumo de energia e, sobretudo, dos custos associados. A Figura 19 demonstra a redução no consumo de energia elétrica no processo produtivo, que é da ordem de 15%.

Figura 19. Redução do consumo médio de energia (kW/mês)



A Figura 20 apresenta a redução do custo de energia elétrica, considerando o cenário atual e as melhorias sugeridas no cenário 3.

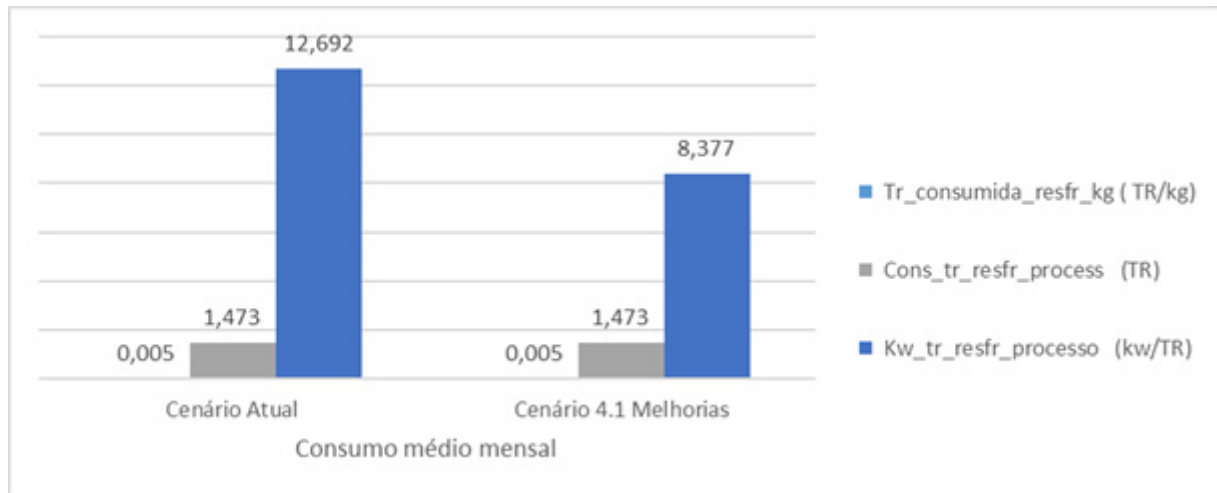
Figura 20. Redução do custo de energia elétrica (cenário atual x cenário melhorias)



#### 4.4 Simulação 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. O custo de TR no processo de resfriamento foi reduzido de R\$ 220,61 para R\$ 96,87 e o custo de TR por kg de produto foi reduzido de R\$ 0,09 para R\$0,06, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21. Redução do consumo de TR e KW em resfriamento



Neste cenário, se demonstra que 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 e o custo de energia elétrica em refrigeração no kg de produto foi reduzido de R\$ 1,00 para R\$ 0,67.

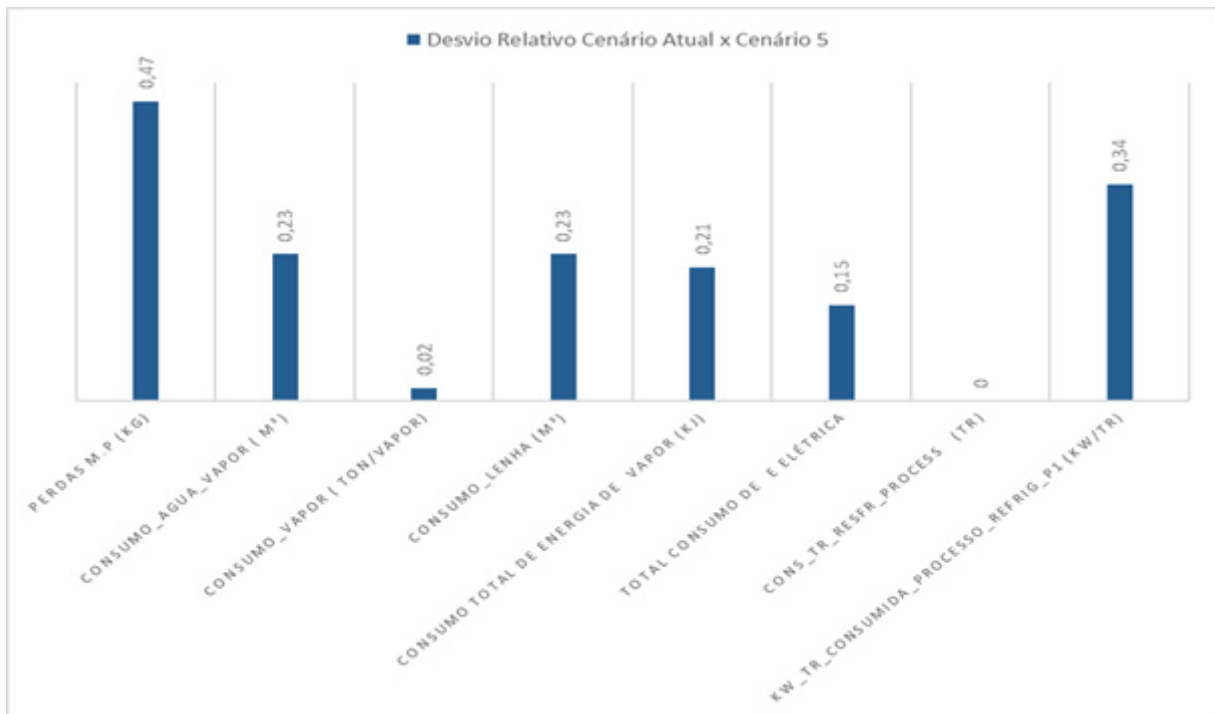
#### 4.5 Simulação do cenário 5

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 e 4.

A Figura 22 apresenta o desvio relativo obtido com as melhorias em cada parâmetro do processo em relação ao cenário atual, relacionadas com as perdas de matéria-prima, consumo de água para produção de vapor, consumo de lenha, consumo de energia de vapor e consumo de energia para refrigeração.

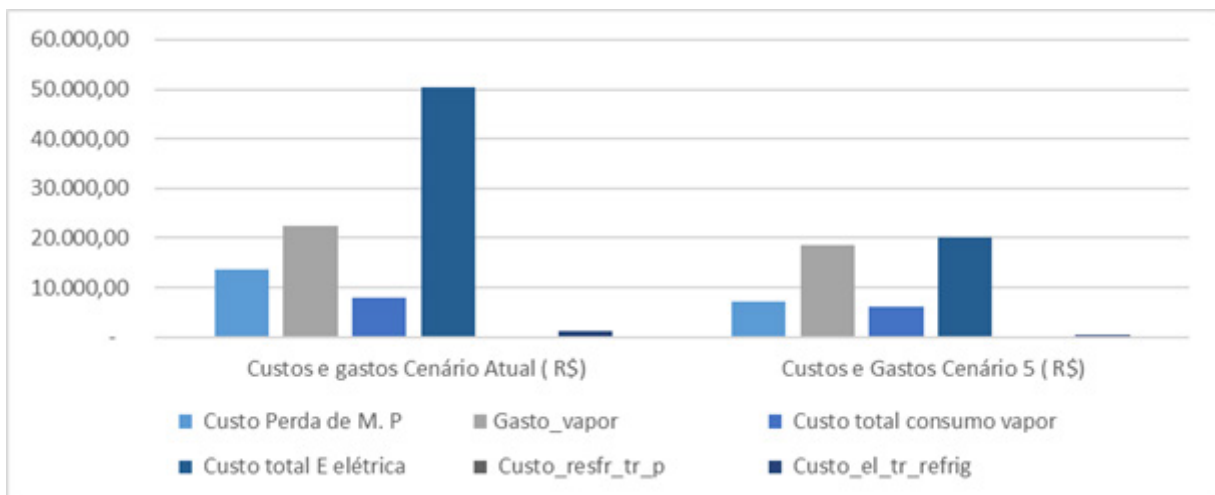


Figura 22. Desvio relativo nos parâmetros cenário atual x cenário 5



A Figura 23 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 de consumo de vapor, custo total de energia elétrica, custo de energia elétrica em refrigeração, resultando em uma economia mensal de R\$ 43.056,72.

Figura 23. Redução de custos e gastos



## 4.6 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. As Tabelas 5 e 6 apresentam o consumo de matéria-prima e energia por um quilo líquido de produto.

Tabela 5. Consumo de matéria-prima por kg líquido de produto

Matéria-prima	Cenário atual	Cenário 5	% redução cenário 5 x cenário atual
Matéria-prima 1	2,53E-01	2,53E-01	1,40E-03
Matéria-prima 2	2,17E-01	1,65E-01	2,36E-01
Matéria-prima 3	7,54E-02	6,40E-02	1,51E-01
Matéria-prima 4	1,38E-02	1,37E-02	1,40E-03
Matéria-prima 5	3,00E-06	3,00E-06	1,83E-01
Matéria-prima 6	8,30E-05	6,70E-05	1,83E-01
Matéria-prima 7	7,20E-05	5,90E-05	1,83E-01
Embalagem primária	1,40E-02	1,39E-02	1,10E-03
Embalagem secundária	3,10E-02	3,10E-02	1,10E-03
Embalagem pacote	1,28E-02	1,28E-02	5,00E-04
Fita adesiva	2,20E-05	1,90E-05	1,52E-01
Papelão	1,09E-02	1,09E-02	2,00E-04
<b>TOTAL</b>	<b>6,27E-01</b>	<b>5,65E-01</b>	<b>1,00E-01</b>

Tabela 6. Consumo energia por kg líquido de produto

Energia	Cenário atual	Cenário 5	Desvio relativo cenário atual x cenário 5
Consumo de E Elétrica (kwh)	4,30E-03	3,65E-03	1,50E-01
Consumo total de energia de vapor (Kwh)	8,30E-04	6,58E-04	2,10E-01
Kw_tr_consumida_processo_refrig_p1 (kw/TR)	1,16E-04	7,61E-05	3,40E-01
<b>TOTAL</b>	<b>5,25E-03</b>	<b>4,39E-03</b>	<b>1,60E-01</b>

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 as 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.

#### 4.7 Discussão dos resultados

Esta investigação versou sobre a realidade operacional de uma empresa, caracterizando-se como o estudo de um caso. Nesta pesquisa os dados coletados (capacidades, tempos de ciclo, consumo de materiais e energia que compõem o inventário da análise) são pertinentes ao sistema de produção da indústria em estudo. Eles foram verificados por meio de registros de informações dos processos, como diagramas de produção, relatórios de geração de resíduos, efluentes e emissões, entre outros. A partir deles, foi possível a elaboração dos diagramas e fluxogramas pertinentes à produção. Para o processamento, foi utilizada a metodologia da Análise de Sistemas Dinâmicos, visando a apuração dos cenários operacionais e de custos, conforme apresentado acima. Como os dados são únicos, a comparabilidade não está sendo possível, mediante o emprego da mesma tecnologia de processamento. Ademais, a literatura não apresentou, estudos com dados comparáveis, mediante os critérios de pesquisa e de estimação utilizados nesta pesquisa, tal como foi possível nas diversas consultas efetuadas.

Entretanto é possível inferir que esta indústria está sempre em busca de melhores padrões de produtividade e de sustentabilidade. Embora a comparabilidade dos resultados, em termos quânticos, fique impossibilitada, a literatura vem apresentando as evoluções neste sentido, demonstrando que os estudos em geral são essencialmente concertes a casos específicos de incrementações em sistemas industriais nesta indústria. Por exemplo, Silva et al. (2015) estudam a capacidade produtiva de uma confeitaria no Ceará, por meio da aplicação do software de simulação operacional *Arena Simulation Software*. Eles desenvolveram a investigação no contexto dos Estudos do Tempo e do Mapeamento de Valor, com medidas estatísticas próprias. Concluíram que Através da simulação é possível avaliar diversos tipos de processos, sejam eles de fabricação ou serviços, e chegar a análises bastante fiéis ao que se verifica no real.

Outras metodologias de investigação vêm sendo implementadas, no sentido de se estudar casos específicos, como Fiorelli et al. (2022), empregando o Business Process Management - BPM e a programação linear na caracterização de uma confeitaria. Reis e Tavares (2023) estudam o processo produtivo de uma indústria alimentícia, desenvolvendo o mapeamento de processos produtivos, tal como foi desenvolvido neste estudo, desenvolvendo as análises de falhas e tempos de paradas no processo produtivo. Ainda neste caso, os resultados não são comparáveis aos obtidos neste estudo, em razão da especificidade da produção e da metodologia empregada

no estudo. Outros estudos vêm sendo realizados empregando novas tecnologias de investigação e de novas realidades nos processos produtivos neste tipo de indústria, tais como, novas possibilidades em planejamento e controle da produção (PCP), Diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers), entre muitas outras metodologias de estudos de casos específicos na indústria de alimentos em geral e de confeitaria, em particular.

A literatura já contempla estudos utilizando a Inteligência Artificial para investigar indústrias de alimentos em casos específicos, tal como apresentam Arôxa, Gonçalves e Nunes (2022). Na otimização de processos industriais, com vistas à redução de custos, otimização do tempo e análises de cenários, a Inteligência Artificial já tem sido referenciada na literatura em diversas áreas, como por exemplo a indústria de alimentos (Perdigão et al., 2023). Sua aplicabilidade à indústria de panificação, doces, balas e outras do gênero, é plenamente viável, e provavelmente neste momento já esteja sendo utilizada, face ao potencial de contribuição às melhorias de processos industriais, produtividade em tempo, custos e racionalização de trabalhos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Em conformidade com os preceitos e conteúdos próprios da Teoria Microeconômica, os processos produtivos e auxiliares no caso aqui estudado relevam recursos produtivos, como o consumo de 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 pode constituir uma informação essencial aos gestores, demonstrando a significância de perdas que passam a ser relevantes quando consideradas na escala de produção.

As abordagens gerenciais tradicionais constituídas de apontamentos, relatórios e estimativas podem representar momentos de forma estática e impossibilitam a análise sistêmica. A abordagem da Dinâmica de Sistemas vem demonstrando sua contribuição às possibilidades analíticas em Economia e Gestão da Produção, constituindo uma estrutura de conhecimento poderosa para avaliar o impacto de cada melhoria proposta no desempenho ambiental e nos aspectos econômicos das atividades produtivas. Neste estudo, sua utilização pode ser considerada como fundamental ao processamento dos dados próprios às simulações apresentadas.

Como ferramenta computacional para o desenvolvimento dos modelos de simulação em dinâmica de sistemas, destacam-se as funcionalidades do AnyLogic® na versão PLE, que possibilitaram a geração de gráficos dinâmicos e variáveis auxiliares que podem ser alteradas durante a execução da simulação, propiciando a visualização de suas alterações e a criação de modelos 3D. Embora não tenham sido usadas essas funcionalidades neste estudo, ainda seria possível a combinação do modelo da Dinâmica de Sistemas com outros modelos de eventos discretos e simulação por agentes.

Neste estudo foram priorizadas as melhorias sobre os processos que visualmente demonstravam perdas significativas de materiais e energia. Na hipótese de implementação de todas as 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% e o 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. Um montante como esse pode financiar a implementação de outras melhorias e reduzir o *payback* dos investimentos em melhorias.

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 as 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 apresentada é passível de ser utilizada e expandida 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, de modo que a performance dos processos passa a ser um elemento crucial para manutenção das margens e garantia de preços competitivos. Assim, os modelos desenvolvidos podem ser utilizados como ferramentas gerenciais para avaliação, monitoramento e melhoria dos processos produtivos. A modelagem em Dinâmica de Sistemas pode, por fim, representar um avanço na gestão das atividades e um diferencial competitivo para o empreendimento.

## 5.2 Recomendações para estudos futuros

Este estudo, desenvolvido no âmbito da Microeconomia, mais precisamente da gestão estratégica orientada para a gestão de recursos produtivos industriais, almeja sua contribuição ao avanço do conhecimento científico nesta fronteira da literatura em Economia. Embora muitos temas na Economia Industrial, frequentemente conhecida também como Economia da Produção, já tenham sido explorados na lógica da racionalidade crítica, própria da natureza positivista de seu escopo e de seus métodos, há que se observar que o estado da economia industrial atual permite e requer que novas fronteiras venham a ser contempladas nos estudos científicos desta área.

Assim, é de bom alvitre recomendar temas como a contextualização da economia dos recursos críticos no âmbito da Inteligência Artificial. Certamente as empresas mais competitivas dos mais diversos setores, incluindo as do ramo alimentício, já vêm utilizando ou planejando objetivamente a adoção das tecnologias do conhecimento em Inteligência Artificial, no propósito de identificar, discriminar, simular e controlar sistemas produtivos cada vez mais sofisticados.

Outra recomendação aqui considerada como viável e pertinente, concerne sobre estudos sofisticados das cadeias de negócios no setor alimentício, também com a utilização dos recursos da Inteligência Artificial. Neste setor econômico observa-se uma significativa e crescente interdependência de interagentes à montante e à jusante de cada negócio. A Dinâmica de Sistemas oferece consistentes modelos de simulações, que podem ser aprimorados e ajustados a estudos acadêmicos, contribuindo ao avanço do conhecimento neste tema.

Por fim, outra recomendação para estudos futuros concerne à evolução do conhecimento sobre elementos neurocientíficos, mais precisamente os sensoriais, dos consumidores em todos os momentos e circunstâncias de consumo, no contexto da indústria alimentícia. A compreensão e a consequente adequação de produtos às estes elementos, por meio de tecnologias da Indústria 4.0 e particularmente da Inteligência Artificial, certamente não de proporcionar significativas condições de atendimento pleno a consumidores, ao mesmo tempo em que proporcionam aos industriais melhores condições de competitividade, por meio de redução de custos e de agregação de valor a produtos.

### 5.3 Recomendações à indústria alimentícia

O segmento de negócios objeto deste estudo é caracterizado pelo protagonismo de empresas de médio e de pequeno portes. Outra natureza deste negócio é a facilidade de entrada e de saída da exploração da atividade. As barreiras não são muito restritivas. A quase totalidade delas, de acordo com produções técnicas do setor, adota e explora tecnologias de domínio comum, empregando em alta escala habilidades de elevada incidência artesanal. Assim, as metodologias gerenciais e técnicas nas indústrias, tendem a ser mais conservadoras e restritivas ao emprego de tecnologias avançadas, sendo estas providas por fornecedores, muitas vezes empresas internacionais de grande porte.

Mediante estas condições, é possível recomendar às respectivas gerências a conscientização da disponibilidade de softwares mais usuais, que permitem, não apenas a elaboração de diagnósticos situacionais com variáveis atuais de seus negócios, mas a evolução para o estabelecimento de cenários críticos de negócios, já disponíveis com o auxílio até da Inteligência Artificial. O recurso essencial de suporte à estratégia de modernização tecnológica de produção e de gestão, é o emprego de pessoal, cada vez mais abundante no mercado.

## REFERÊNCIAS

- Al-Agele, H. A., Nackley, L., & Higgins, C. W. (2021). A pathway for sustainable agriculture. *Sustainability*, v.13, n.8 4328. <https://doi.org/10.3390/SU13084328>.
- Antunes, Daiana J. De P.; Martins, Eliane M. F.; Fávero, Lara C. & Martins, Maurilio L. (2024). Balas, doces e confeitos e a tendência da saudabilidade. E-food. 23/01/2024. Acesso: 16/12/2024. <https://portalefood.com.br/artigos/balas-doces-e-confeitos-e-a-tendencia-da-saudabilidade/>
- Arôxa, Carolina; Gonçalves, Jenisson L. C. & Nunes, Tatiana. (2022). A inteligência artificial e a indústria de alimentos: um estudo de caso sobre a Notco®, In book: Pesquisas e atualizações em ciência dos alimentos. <https://doi.org/10.53934/9786599539657-77>



- Barbosa, Milena, P.; Leinecker, Rafaelly; Rosa, Cassia I. L. F.; Botelho, Renato V.; Mesomo, Michele C. (2018). Caracterização e Avaliação Sensorial de balas com colágeno e adoçantes. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, vol.20, no.2. <https://doi.org/10.5935/RECEN.2018.02.02>
- Brasil Sweets and Snacks. (2021). O poder da indústria de confeitaria brasileira. [https://www.brasilnsns.org.br/en/the\\_power\\_of\\_the\\_brazilian\\_confectionery\\_industry/](https://www.brasilnsns.org.br/en/the_power_of_the_brazilian_confectionery_industry/)
- Costa, A. R. D.; Gonçalves, J. P. (2022). Milling parameters and solid waste characterisation to use as supplementary cementitious materials. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 35-48, out./dez. 2022. ISSN 1678-8621. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212022000400626>
- Davis, M. L., & Masten, S. J. (2016). *Princípios de Engenharia Ambiental*. McGraw Hill Brasil. ISBN: 9788580555912
- Dibbern, T., Romani, L. A. S & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture Technologies. *Smart Agricultural Technology*. v. 8. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459>
- Ferreira, T. C., Caldana, A. C. R., Batalhão, A. C. R., Alves, M. F. R. & Paliari, J. C. (2023). Sustainable Development Goals: the impact of large representatives in the Brazilian construction industry. *Ambiente e Sociedade*, v. 26. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210058r2vu2023L2OA>
- Fiorelli, Isabella S.; Batista, Marcos D.; Bortoli, Pedro H. S. & Lobo, Rogerio (2022). Melhoria nos processos de uma confeitaria utilizando (Business Process Management) BPM e a programação linear. *Engenharias*, v.26, ed.116. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7304016>
- Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. ISBN Print: 978-92-808-9115-7
- 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. <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. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.02.001>
- 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*, n. 63, p. 104-132 <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.02.010>
- Hassini, E., Surti, C., & Searcy, C. (2012). A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics. *International Journal of Production Economics*, v. 140 ,n, 1 p. 69-82. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.042>
- Herrmann, C., & Thiede, S. (2009). Process chain simulation to foster energy efficiency in manufacturing. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 1, n. 4. p. 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2009.06.005>
- Kamil, R.Z.; Fadhila, F.H.; Rahmasari, A.D.; Murdiati, A.; Juffrie, M.; Rahayu, E.S. (2021). Development of probiotic gummy candy using the indigenous *Lactobacillus plantarum* Dad-13 strain, evaluation of its gastrointestinal resistance and shelf – life prediction. *Food Research*, v.5, p. 265-283. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(5\).731](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(5).731)
- Keramydas, C., Mallidis, I., Dekker, R., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2017). Cost and environmental trade-offs in supply chain network design and planning: the merit of a simulation-based approach, *Journal of Simulation*, v. 11, n. 1, p. 20-29. <https://orcid.org/10.1057/s41273-016-0031-z>
- Kittichotsawat, 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. <https://doi.org/10.3390/su13084593>
- Klaus, C. B. & Sherer, O.L.S. (2017). Redução de custo através do uso eficiente da energia elétrica: estudo de caso em uma empresa do ramo alimentício do Vale do Paranhana/RS. *Revista Eletrônica de Ciências Contábeis*. v. 6 n. 1, p. 167 – 194. <https://seer.faccat.br/index.php/contabeis/article/view/536>
- Kumar, R., Kaur, A., Sharma, S., Barthi, H. & Kumar, R. (2024). Advancements And Challenges In Agriculture Waste Management: A Comprehensive: Review. *Educational Administration*. v 30, n. 5, p. 7253- 7273. <https://doi.org/10.53555/kuey.v30i5.4150>



- Langley, P. and Rieple, A. (2024), "How managers' perceptions about dynamic complexity change: sensemaking catalyzed by shock and surprise", *Management Decision*, v. 62, n 4, p. 1169-1188. <https://doi.org/10.1108/MD-03-2023-0345>
- Leão, A. F. M., Santos, B. O., Belém, S. P., Roberto, J. C. A. & Almeida, V. S. (2024). Engenharia de produção agregada as novas tecnologias. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*. v 16, n. 4. <https://doi.org/10.55905/cuadv16n4-118>
- Mariono, S., Syaharuddin, S., Sunday, E. & Abdillah, T. (2024). *International Seminar on Student Research in Education, Science, and Technology*, v1, April, p. 352-369. <http://journal.ummat.ac.id/index.php/index/oai>
- Martins, E. (2010). *Contabilidade de custos*. São Paulo: Editora Atlas S.A. ISBN 85-224-3360-7
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123845>
- Montevechi, J. A., Costa, R., Leal, F., & Pinho, A. (2010). Economic evaluation of scenarios for manufacturing systems using discrete event simulation based experiments. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 7, n. 1. p.77-103. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382012005000021>
- Morecroft, J. D. W. (2015). *Strategic Modelling and Business Dynamics – a feedback systems approach*. United Kingdom, Wiley. ISBN: 978-1-118-84468-7
- Oliveira, R. S. & Lavarda, C. E. F. (2023). Efeitos dos vínculos organizacionais no engajamento no trabalho e no desempenho de tarefas. *Revista de Administração FACES*. v.22, n. 4, p. 28 – 44. <http://revista.fumec.br/index.php/facesp/article/view/9759>.
- Perdigão, Iago L.; Alves, Pedro T.; Soares, Nikolas H.; Divino, Laura S. & Iartelli, Alexandre (2023). O papel da IA na otimização de processos industriais. *Ciências Exatas e da Terra*, Volume 27. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10048052>
- Rahmandad, H. (2015). Connecting strategy and system dynamics: an example and lessons learned. *System Dynamics Review*, v. 31, n 3, p. 149-172. <https://doi.org/10.1002/sdr.1541>
- Rani, U., Pesole, A. & Gonzalez-Vazquez, I., (2024). Algorithmic Management practices in regular workplaces: case studies in logistics and healthcare, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/712475,JRC136063>
- Reis, Marcone F. & Tavares, Cristiane M. C. (2023). Melhoria de processo de produção: um estudo de caso na indústria alimentícia. XI Simpósio de Engenharia de Produção. A Engenharia de Produção no contexto das organizações "Data Driven". Campina Grande, Paraíba, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2023. <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/33030/1/MELHORIA%20DE%20PROCESSOS%20DE%20PRODU%C3%87%C3%83O%20.pdf>
- Rödger, J. M., Beier, J., Schönemann, M., Schulze, C., Thiede, S., Bey, N., Herrmann, C., & Hauschild, M. Z. (2021). Combining life cycle assessment and manufacturing system simulation: evaluating dynamic impacts from renewable energy supply on product-specific environmental footprints. *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf. Green Tech.* v. 8, p. 1007-1026. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00229-z>
- Rosa, A. C., Pivetta, N. P., Bobsin, D & Scherer, F. L. (2023). Economia compartilhada e consume colaborativo: publicações nacionais e insights para pesquisas futuras. *Revista de Administração FACES Journal*, v.22, n.4. <http://revista.fumec.br/index.php/facesp/article/view/9896>
- Sehnm, S., Vazquez-Brust, D., Pereira, S. C. F. & Campos, L. M. S. (2019). Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 24, n. 6, <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2018-0213>
- Silva, Luiz C. P.; Leite Filho, Francisco C. V.; Oliveira, Marcelo R. & Souza, Maria R. N. (2015). Planejamento da capacidade produtiva de uma confeitaria no Ceará: aplicação do software de simulação operacional Arena. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Producao - Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção, Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015. [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_206\\_225\\_27146.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_206_225_27146.pdf)
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world*. ISBN 9780072311358. [bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=013598/\(100\)](bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=013598/(100))
- Stroparo, T. R., Araújo, J. H. K., Bortolotti, M. A. & Lacerda Júnior, O. S. (2024). Inteligência artificial na gestão de custos: avanços, desafios e oportunidades. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-REASE*. v.10, n. 06. <https://doi.org/doi.org/10.51891/rease.v10i6.14442>

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. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2015.09.002>

Vieira, E. J., Martins, H. C. & Gonçalves, C. A. (2014). Teoria da complexidade: um estudo em organizações em diversas perspectivas. *Revista FACES FUMEC*, v. 14, n. 36. <https://doi.org/10.5752/P.1984-6606.2014v14n36p85>

Wolf, B. (2016). *Confectionery and sugar-based foods*. In book: Reference Module in Food Science Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1>