

Redesign de equipamento para transporte – análise comparativa de gasto energético (energia e água) em frigoríficos

Redesigning transport equipment – comparative analysis of energy expenditure (power and water) in refrigerators

Lisiane Ilha Librelotto¹ - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico
Paulo Cesar Machado Ferroli² - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Dep. de Expressão Gráfica

RESUMO A sustentabilidade é definida atualmente como uma abordagem que integra aspectos sociais, econômicos e ambientais (ESA). Essa filosofia traz implicações ao chão-de-fábrica, especialmente na questão econômica. O presente artigo mostra um estudo realizado em uma fábrica de farinha de origem animal. Pertencentes aos frigoríficos, essas fábricas necessitam de ajustes com relação à tríade ESA, pois processam material orgânico não aproveitável para alimentação humana, tradicionalmente problemático do ponto de vista ambiental. O artigo relata estudos preliminares de adaptação da filosofia ESA nas graxarias, concentrando-se inicialmente na relação da esfera econômica com as demais. Mostra o projeto de um transportador de correia, do abate até a fábrica de subprodutos de origem animal. Atualmente, na fábrica usada neste estudo de caso, esse transporte é realizado manualmente (para penas) e transporte pneumático (para vísceras). A finalidade é verificar qual dos processos de transporte é mais adequado segundo a filosofia ESA.

Palavras-chave Projeto. Sustentabilidade econômica. Aspectos econômicos. Gasto energético.

ABSTRACT Sustainability is defined as an approach that integrates social, economic and environmental concerns (SEE). This philosophy carries several implications for daily factory work, where culturally, the economic issue is considered most important. This paper provides a case study at a meat and bone-meal (MBM) factory, and the preliminary studies of the adaptation of this factory to the SEE philosophy, focusing initially on economic aspect, and its relationship with the two other aspects. It also shows how the design of a conveyor belt - used to transport entrails and feathers from the slaughter site to the byproducts production site - could improve the consumption of power and water resources at the factory studied. Currently, this transport is accomplished manually (for feathers) and by pneumatic conveying (for entrails). As a result, it was found that a change in the transport processes to align with the SEE philosophy would allow an 18% reduction of water use.

Keywords Design. Sustainability. Economic aspects.

1. R. Delfino Conti, s/n, Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900, lisiane.librelotto@arq.ufsc.br
2. ferroli@cce.ufsc.br

LIBRELOTTO, L. I.; FERROLI, P. C. M. Redesign de equipamento para transporte – análise comparativa de gasto energético (energia e água) em frigoríficos. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 10, nº 4, out-dez/2015, p. 139-156.

DOI: 10.15675/gepros.v10i4.1246

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade, atualmente, é assunto relevante a todas as áreas do saber. Conhecer as razões, motivações, normas, restrições, e a própria filosofia incluída no tema é uma obrigatoriedade para todo e qualquer profissional nos dias de hoje, independente de seu ramo de atuação. Como todo tema “novo”, a sustentabilidade carece de dados confiáveis, fontes fidedignas de informações, referências abordando os diversos assuntos correlacionando-a com as diversas áreas de interesse de cada um. Devido a isso, torna-se necessário uma ação conjunta de todos os profissionais envolvidos em uma organização, onde a multidisciplinaridade está presente em todas as fases do ciclo de vida do produto.

Os frigoríficos sempre tiveram problemas com relação a questão ambiental. Tradicionalmente estão localizados em áreas próximas a rios, pois no século XIX e mesmo durante parte do século XX, os dejetos eram simplesmente descartados na água ou enterrados. No entanto, o abate cresceu muito e a própria sociedade passou a cobrar soluções para problemas decorrentes como mau cheiro e contaminação, por exemplo, que traz implicações sociais relevantes como a desvalorização imobiliária de propriedades localizadas nas proximidades de frigoríficos e curtumes.

Os produtos gerados pelos frigoríficos, assim como a maioria dos produtos industrializados, passaram ao longo dos anos pelas cobranças advindas da corrida pela qualidade total dos anos 1980, pelo início do processo da globalização verificado nos anos 1990 e, mais recentemente, pela questão ambiental, especialmente a partir da II Conferência Mundial do Meio Ambiente realizada no Rio de Janeiro em 1992, que teve por principal documento a Agenda 21.

De acordo com Silva (2013), diferente da primeira conferência mundial do meio-ambiente (UNCHE, 1972, Estocolmo) que resultou em poucas ações concretas, a Rio Eco-92, como ficou conhecida, promoveu diversas discussões e abordagens, sendo talvez a mais relevante o aumento considerável da conscientização da população em geral para questões relacionadas ao meio-ambiente, como a problemática relacionada a camada de ozônio, superaquecimento, aumento dos lixões, necessidade de reciclagem, coleta seletiva, miséria, saneamento básico, e saúde em geral.

Sobre isso é importante observar o exposto por Suki (2013), que afirma que o comportamento dos consumidores de produtos atualmente é fortemente influenciado por selos verdes e eco-selos. No caso de frigoríficos, a utilização de uma rotulagem ambiental correta traz benefícios de ganho de mercado, já que os consumidores reconhecem esse esforço como positivo e importante, adquirindo uma relação de confiança associada à marca e a empresa.

Com base nestes conceitos, e em estudos semelhantes de integração dos fatores de projeto que se correlacionam entre si (NIELSEN; WENZEL, 2002) este artigo mostra um estudo de caso realizado em uma parte específica do frigorífico, responsável pelo processamento dos subprodutos gerados no abate de aves, conhecido industrialmente como graxaria. Tem por objetivo analisar, mediante o projeto de transportadores para substituir os atuais, possíveis benefícios econômicos, sociais e ambientais. A análise é pautada no modelo ESA (LIBRELOTTO *et al.*, 2012), e este estudo de caso concentra-se no ponto de vista econômico. As questões sociais e ambientais presentes no modelo foram analisadas qualitativamente, e serão objeto de estudos posteriores.

2. REVISÃO DA LITERATURA

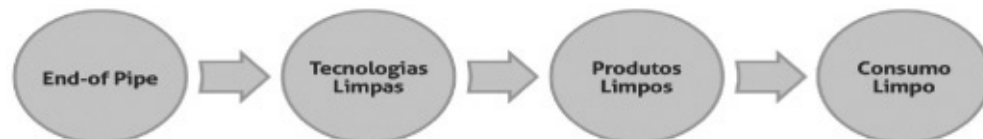
Almeida (2007) explica que os recursos ambientais, hoje tidos como uma espécie de capital, é ameaçado por duas razões básicas: a ausência de direito de propriedade (ou seja, não tem dono definitivo) e a fungibilidade, que significa que ele não pode ser substituído por outro de mesma espécie, qualidade, quantidade e valor. Logo, o fato de serem definidos como externalidades (produtos globais de uso comum) origina o uso insustentável desses recursos.

De acordo com essa “nova realidade” as empresas fabris passaram a investir na questão ambiental. Para isso, duas abordagens foram utilizadas, uma externa e uma interna. A externa, claramente destinada à promoção da empresa no competitivo mercado atual. Huang *et al.* (2012) comentam que a compreensão, reconhecimento e aquisição de produtos rotulados como sustentáveis estimulam o desempenho ambiental dos produtores que investem em tal prática. Isso promove o desenvolvimento econômico e a proteção do meio ambiente.

No sentido de prover as mudanças necessárias, a parte projetual foi questionada e verificou-se que o projeto seria a melhor, senão única solução para que os produtos gerados tivessem menor impacto ambiental. Essa foi a abordagem interna. Manzini e Vezzoli (2008) apresentam essa questão, e mostram que devido a sua urgência, e ao fato de que o projeto poderia ser o agente modificador procurado, porém, com soluções a médio e longo prazo, surgiu o eco-design; menos abrangente que a sustentabilidade, mas mais adequado para soluções de curto prazo.

A Figura 1 ilustra as principais soluções decorrentes da questão. Especificamente no caso deste artigo, relacionado a frigoríficos, a política *end-of-pipe* foi amplamente implementada a partir dos anos 1990, pois oferecia soluções muito rápidas, com resultados visíveis a toda comunidade e custos relativamente baixos. O principal conjunto de projeto desta etapa foram as ETEs (Estações de Tratamento de Efluentes) localizadas logo após as graxarias, e o equipamento conhecido com flutuador de gorduras foi rapidamente popularizado nestas fábricas.

Figura 1 – Evolução das abordagens de eco-design.



Fonte: Adaptado de Manzini e Vezzoli (2008).

Da referida figura, entende-se:

- **End-of-pipe:** tem abordagem basicamente no tratamento da poluição, focando-se na tentativa de neutralizar os efeitos ambientais negativos gerados por determinadas atividades produtivas. Por ser a primeira ação efetiva, foi amplamente implementada sem que houvesse necessariamente um planejamento, o que prejudicou em alguns casos os resultados esperados. No entanto, cabe ressaltar que, especificamente nas graxarias, os efeitos foram muito positivos, com redução significativa do odor e possibilidade de reaproveitamento da água, após passar pela ETE (Estação de Tratamento de Efluentes).
- **Tecnologias limpas:** baseia-se em uma interferência nos processos produtivos que geram a poluição. Essa etapa é que está atualmente em implantação na maioria dos frigoríficos. É realizada principalmente pela substituição de equipamentos por outros mais modernos, com menor gasto energético e mais eficiência. Reduz em quantidade os subprodutos que ainda necessitam ser encaminhados para a ETE e melhora a qualidade de saída da própria ETE, favorecendo deste modo o reaproveitamento, principalmente da água.
- **Produtos limpos:** baseia-se no *redesign* dos produtos com objetivos claramente ambientais. Essa abordagem é um pouco mais complexa, pois a graxaria é formada por um conjunto grande de máquinas e equipamentos. O *redesign* neste caso deve ser amplo, não há como conseguir resultados significativos ou válidos pelo reprojeto de um ou dois subsistemas (ou reprojeto de uma máquina, por exemplo). A utilização cada vez maior de automatização no processo tem se mostrado eficaz no sentido de reduzir as perdas ocasionadas por gargalos ou falhas não previstas, porém para conseguir efetivamente gerar um “produto limpo” será necessário modificar o processo de produção, tanto da ração quanto do óleo. A possibilidade da produção de rações mistas também pode ser útil para diminuir resíduos líquidos e gasosos.
- **Consumo limpo:** aborda novos comportamentos sociais, onde ocorre a procura por produtos e serviços vistos como ecologicamente corretos. Almejado como futuro requer uma quebra de paradigma e a utilização dos subprodutos como matéria-prima para outra finalidade, como por exemplo, a obtenção de polímeros através das penas e pigmentos naturais pelo sangue (dentre outros).

No Brasil, conforme mostram Vendrametto *et al.* (2011), a busca pela produção mais limpa deve-se principalmente ao esgotamento da capacidade do meio ambiente de absorver e regenerar resíduos. Isto levou recentemente a uma legislação mais rígida sobre as emissões de resíduos e a própria competitividade de uma empresa está atualmente associada a estes fatores e também a sua parcela de responsabilidade social. Esta tendência é mundial, conforme mostram Thrane *et al.* (2009), que indicam inclusive a necessidade de se aproveitar dos benefícios obtidos pelas políticas introdutórias do tipo *end-of-pipe* e tecnologia limpas para conseguir-se obter produtos limpos.

Vários instrumentos de políticas ambientais que visam reduzir os efeitos negativos das atividades econômicas têm sido concebidos e testados ao longo dos anos. Bleda e Valente (2009) mostram uma classificação para estes instrumentos, divididos em aqueles orientados pela oferta (eco-taxas e licenças, por exemplo), concebidos para alterar o comportamento dos produtores por meio de incentivos financeiros visando a minimização dos impactos ambientais e, os orientados pela demanda, que fornecem informações aos consumidores sobre o impacto ambiental de produtos, incentivando a competitividade e livre comércio.

A abordagem ESA tem por objetivo a integração das questões econômicas, sociais e ambientais. Entende-se ser esta mais ampla do que o denominado eco-design, pois integra a ciência econômica com a ambiental, não deixando de focar nos aspectos sociais (LIBRELOTTO *et al.*, 2012).

Os fatores determinantes de sucesso para um produto já foram definidos como: fabris, produtivos, econômicos, ecológicos, estéticos, ergonômicos, mercadológicos e sociais. A tríade ESA integra esses fatores no projeto, obrigando que os projetistas definam todo o ciclo de vida do produto antes deste ser efetivamente posto no mercado.

3. DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

3.1. Fábrica de subproduto – objeto de estudo

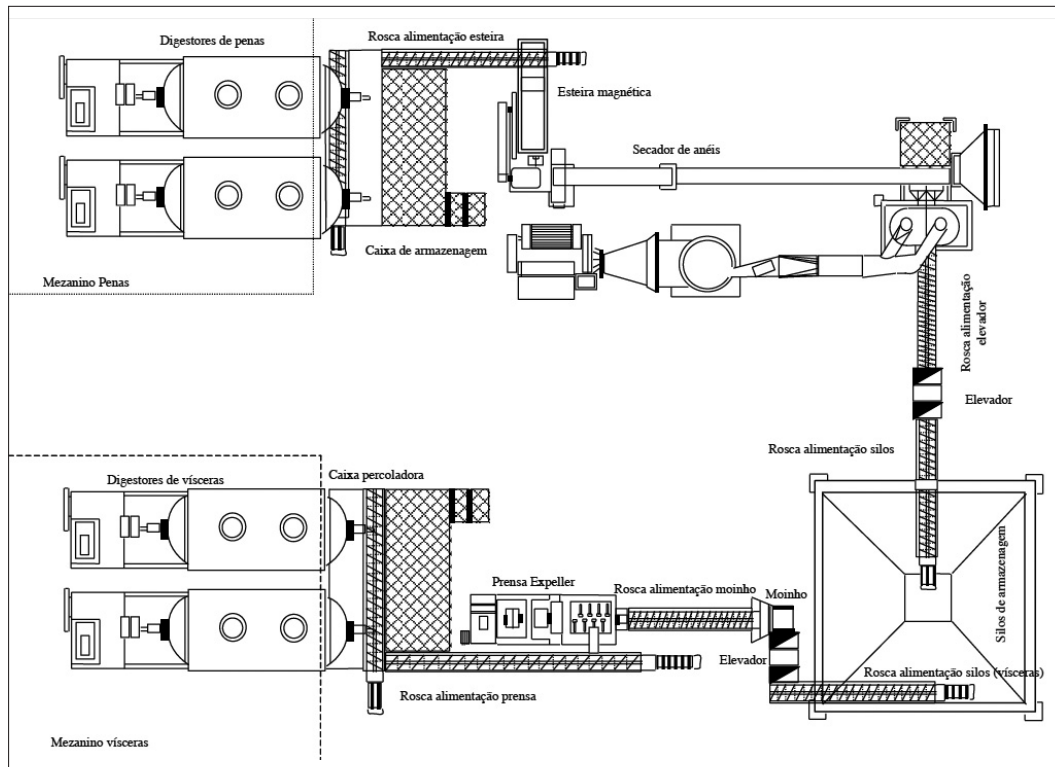
As fábricas de subprodutos surgiram no início do século XX com a finalidade de promover o aproveitamento dos subprodutos gerados no abate de aves, suínos e bovinos (penas, pelos, vísceras, cascos, etc.), que antigamente eram simplesmente jogados nos rios ou enterrados, e gerar alimento para outros animais. A farinha produzida nestas fábricas é incorporada nas fábricas de ração aos demais farelos (milho, soja, etc.), garantindo uma adequada digestão.

É simples o modo de calcular a quantidade de subprodutos gerada em um processo de abate de aves (PICCHI, 1994), bastando considerarem-se as seguintes porcentagens sob o peso da ave viva: penas (7,47%), sangue (0,79%), vísceras (7,16%), condenações sanitárias (1,21%) e resíduos (0,37%). Com isso, observa-se que, para uma fábrica com capacidade de abater 150.000 frangos/dia, esta terá de processar aproximadamente 72,3 toneladas de subprodutos diários. Cabe ressaltar que a maioria dos frigoríficos hoje em atividade no Brasil possui o dobro desta capacidade.

Grande parte da farinha produzida é consumida nos estados do Sul e Sudeste do Brasil, onde estão localizados 87% dos produtores de aves e suínos. A utilização dos subprodutos é dividida entre ovinos, suínos e aves, sendo bastante comum usarem-se conjuntamente subprodutos provenientes de aves e suínos.

A Figura 2 apresenta, esquematicamente, o *layout* da graxaria utilizada na pesquisa. O desenho foi orientado pelas visitas e anotações, levando-se em consideração obras em andamento e equipamentos em manutenção. Trata-se de uma graxaria de médio porte, e limitações físicas (espaço) impossibilitam um acréscimo significativo na capacidade produtiva. A maioria dos equipamentos possui em média 10 anos. Portanto, existem perdas produtivas e energéticas consideráveis em vários pontos.

Figura 2 – Layout da fábrica objeto de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2015).

3.2. Projeto – transportador de correia

Os transportadores de correia necessitam pequena manutenção e fornecem alta eficiência, mediante um transporte contínuo. Para a correta escolha e dimensionamento de um transportador de correia deve-se levar em consideração: a capacidade a ser transportada; o comprimento do transportador medido na horizontal; a elevação do transportador (e consequentemente sua inclinação); o material que será transportado; e as condições gerais do ambiente de trabalho. O primeiro passo para seleção do transportador de correia é a escolha do material básico de contato. No mercado são disponíveis lona, borracha, plástico, couro ou metal, com sistema contínuo ou “sem fim”. O dimensionamento da largura do transportador (L) é obtido por seleção de tabelas fornecidas por fabricantes, como a mostrada na Tabela 1, por exemplo.

A velocidade das correias é determinada em função da largura previamente definida e da capacidade de transporte desejada. Em geral, a velocidade das correias varia de 30 m/min a 180 m/min, com modelos que chegam até a 360 m/min. É importante observar que os transportadores novos devem ter um período para amaciamento do sistema, no qual a velocidade utilizada deve ficar em torno de 60% da capacidade máxima.

Tabela 1 – Dados para dimensionamento da largura do transportador.

Largura da correia (cm)	Tamanho do objeto transportado (cm)		Velocidade máxima $V_{m\acute{a}x}$ (m/min)	Capacidade de transporte em m^3/h		Capacidade de transporte C_T (ton/hora)							
	Uniforme	N\~ao Uniforme		30m/min	$V_{m\acute{a}x}$	800 kg/ m^3		1200 kg/ m^3		1600 kg/ m^3		2000 kg/ m^3	
						30 m/min	$V_{m\acute{a}x}$	30 m/min	$V_{m\acute{a}x}$	30 m/min	$V_{m\acute{a}x}$	30 m/min	$V_{m\acute{a}x}$
30	5	5	107	14,3	50,0	11	40	17	60	23	80	28	100
36	5	8	107	19,4	68,0	16	54	23	81	31	106	38	135
41	6	10	107	25,5	88,9	20	71	30	106	41	142	50	177
46	8	13	137	32,0	144,4	26	115	38	182	51	230	63	297
51	9	15	137	39,6	178,4	32	142	46	213	64	284	77	355
56	10	18	137	48,1	215,8	39	172	57	268	77	344	95	440
61	11	20	168	57,1	314,3	46	241	68	362	91	482	114	603
71	15	25	168	77,9	427,6	62	341	93	512	124	682	155	853
76	18	30	198	89,2	580,5	71	464	106	696	142	928	177	1150
91	20	38	198	127,4	835,3	102	666	156	1000	204	1332	258	1666
107	25	46	229	175,6	1311,0	141	1048	211	1573	281	2096	350	2621
122	30	51	229	229,4	1713,1	184	1368	275	2052	366	2736	458	5420

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

A inclinação máxima que se pode dar ao transportador de correia pode ser verificada na tabela 2, que leva em consideração o material transportado. A Tabela 2 mostra apenas uma pequena parte do encontrado em catálogos, que serve apenas para exemplificar o presente estudo. Caso o material a ser transportado não esteja presente na tabela, recomenda-se que se escolha um material presente na tabela que possua peso específico o mais próximo possível do material que será usado. Também é possível escolher-se dois materiais de pesos específicos semelhantes e proceder a interpolação dos dados.

Tabela 2 – Determinação do grau máximo de inclinação possível.

Material	Peso médio (lbs/ft ³)	Peso médio (ton/m ³)	Inclinação máxima α_1
Areia de fundição	80-90	1,3-1,4	24 ^o
Carvão em pó	45-60	0,7-1,0	20 ^o -22 ^o
Vísceras de suínos ou aves	45-55	0,7-0,9	19 ^o
Cal	60	0,9	17 ^o
Cimento Portland	94	1,6	20 ^o -23 ^o
Cinza, terra	105	1,6	17 ^o

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

A quantidade de lonas do transportador pode ser obtida pela Equação 1. Na prática, porém, é mais usual utilizar-se de dados fornecidos por fabricantes, como exemplificado na Tabela 3. A Equação (1) relaciona a potência necessária para acionar o transportador (N), o raio de contato (que pode ser obtido pela Tabela 4), a largura da correia em centímetros e a tensão de segurança admissível por comprimento de cinta, em kg/cm, que pode ser obtida da Tabela 5. Novamente aqui cabe a observação de que as tabelas representadas contemplam uma pequena parte do todo encontrado em catálogos e na bibliografia técnica, servindo aqui apenas para o propósito de exemplificação do procedimento adotado no presente estudo.

Equação 1 – Quantidade de lonas do transportador.

$$n = \frac{4486.N.r}{v.L.t} \quad (1)$$

Tabela 3 – Determinação do número de lonas do transportador.

Largura L (cm)	V _{máx} (m/min)	Número de lonas		Tensão / n ⁰ máximo de lonas	Potência que pode ser transmitida a 30 m/min (HP)					
		Mín	Máx		Acionamento simples (180°)		Acionamento com tensor (210°)		Acionamento em Tandem (420°)	
					s/revest	c/revest	s/revest	c/revest	s/revest	c/revest
46	137	4	6	1320	4,80	5,90	5,30	6,42	7,45	8,20
51	137	4	6	1470	5,32	6,55	5,88	7,12	8,25	9,10
56	137	4	6	1620	5,85	7,20	6,47	7,82	9,10	10,00
61	168	4	7	2050	7,45	9,12	8,20	9,90	11,65	12,70
71	168	5	7	2400	8,70	10,70	9,60	11,65	13,55	14,90
76	198	5	8	2940	10,65	13,10	11,80	15,25	16,55	18,20

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Tabela 4 – Raio de contato.

Acionamento	Ângulo de abraço	$r = \frac{T_1}{(T_1 - T_2)}$	
		Polia com revestimento	Polia sem revestimento
Simple	180°	1,84	1,50
Com tensor	210°	1,67	1,38
Sem tensor	420°	1,19	1,09

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Tabela 5 – Tensão de segurança admissível.

Peso da cinta	Tensão de segurança (admissível)
945 g/m ²	4,5 kg/cm
1080 g/m ²	5,0 kg/cm
1215 g/m ²	5,5 kg/cm

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

O acionamento do transportador de correia é, em geral, executado por um motor elétrico, com acoplamento, redutor de velocidade, polias de acionamento, tambor e mancais. A polia montada no eixo motriz destina-se a transmitir o torque necessário a movimentação da correia transportadora e sua superfície de contato pode estar ou não revestida, dependendo da necessidade

de se tracionar ou tencionar mais ou menos a correia. O diâmetro mínimo recomendado para a polia de acionamento pode ser obtido pela tabela 6, dado em função da largura da correia. Deve-se considerar também que é possível aumentar a potência através da elevação do ângulo de abraçamento entre os elementos através de polias de encosto ou de outra polia auxiliar de acionamento. A potência do motor de acionamento é determinada pela Equação 2, pois neste caso trata-se de um transportador de correia inclinado.

Equação 2 – Potência do motor de acionamento.

$$N = \left[\frac{(\phi \cdot V + \gamma \cdot C_T) \cdot L_C \cdot P}{305} + \frac{H \cdot C_T}{270} \right] \cdot \frac{\lambda}{\eta} \quad (2)$$

Os fatores a serem preenchidos na Equação 2 são:

ϕ = fator de velocidade em função da largura da correia, retirada da tabela 7;

V = velocidade de transporte, em m/min;

γ = fator de carga, fornecido pelo fabricante, em geral 0,0757;

CT = capacidade de transporte em ton/hora;

LC = distância entre centros (entre polias), em metros;

P = coeficiente dos mancais, fornecido pelo fabricante, de valor variado entre 0,7 a 1,0;

η = rendimento do mecanismo, também fornecido pelo fabricante, com valor variando entre 0,80 a 0,85;

H = altura de elevação em metros;

λ = fator de comprimento, dado em função da distância entre centros, conforme tabela 8.

Tabela 6 – Diâmetro mínimo da polia de acionamento.

Largura (pol)	Diâmetro mínimo (pol)	Largura (mm)	Diâmetro mínimo (mm)
12	20	304,8	508
14 - 16	24	355,6 - 406,4	609,6
18 - 20	30	457,2 - 508	762
24	36	609,6	914,4
30	42	762	1066,8

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Tabela 7 – Fator de velocidade.

Largura (cm)	Fator de velocidade	Largura (cm)	Fator de velocidade
61	0,1870	71	0,2359
76	0,2359	91	0,3280
107	0,6002	122	0,6723

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

Tabela 8 – Fator de comprimento.

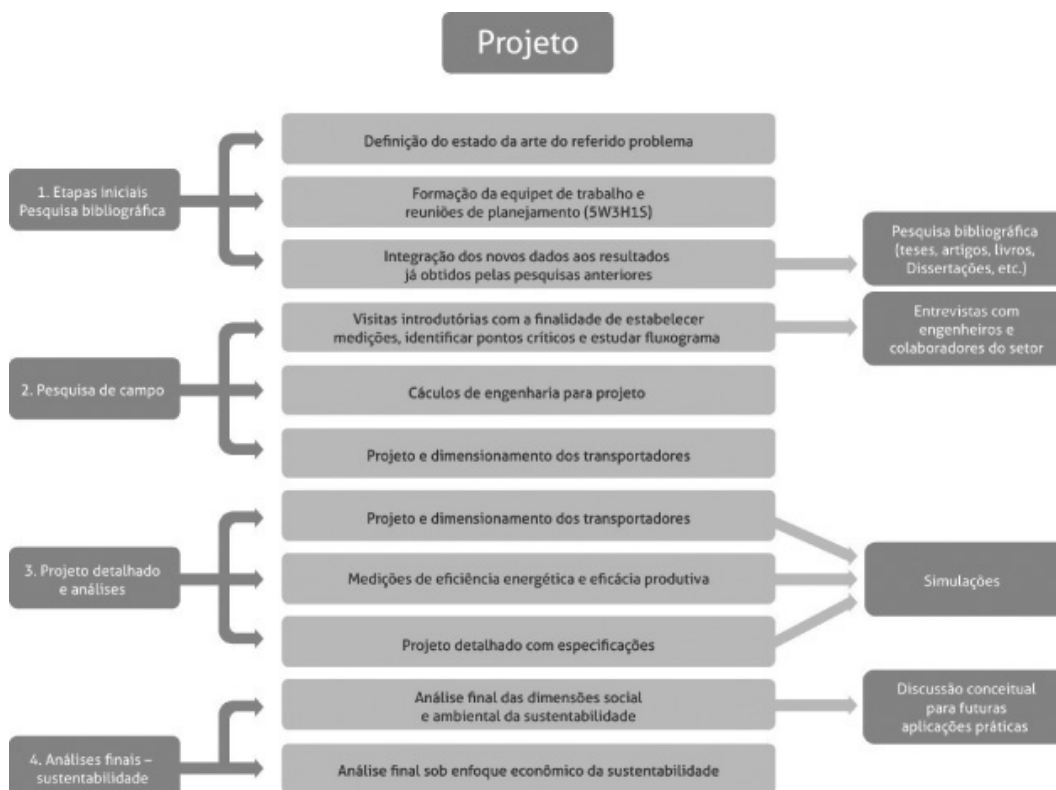
Distância entre centros (m)	Fator de comprimento	Distância entre centros (m)	Fator de comprimento
27,4	1,25	30,5	1,20
45,7	1,13	61,0	1,10
76,2	1,08	91,4	1,07
121,9	1,05	182,9	1,04
243,8	1,025	305,5	1,020

Fonte: Adaptado de Brasil (2006).

4. METODOLOGIA USADA NA PESQUISA

A pesquisa relatada neste artigo seguiu os procedimentos mostrados na Figura 3, explicados na sequência.

Figura 3 – Procedimentos metodológicos.



- Etapa 1 – Etapas iniciais e pesquisa bibliográfica. Esta etapa foi dividida em:
 - (1) Definição do estado da arte do referido problema: essa fase teve como foco a verificação das viabilidades, tanto técnicas quanto financeiras de se realizar a pesquisa, definindo-se cronogramas, metas e estratégias a serem tomadas.
 - (2) Formação da equipe de trabalho e reuniões de planejamento: de posse das informações obtidas na etapa anterior, definiu-se e montou-se uma equipe composta de professores orientadores e de alunos de iniciação científica vinculados a projetos de pesquisa e extensão, e utilizou-se da ferramenta 5W3H1S (*What, Why, Who, When, Where, How, How many, How much, Show*), para compor um planejamento.
 - (3) Integração dos novos dados aos resultados já obtidos pelas pesquisas anteriores: nesta etapa procurou-se enumerar todos os dados e variáveis disponíveis, vinculando o plano de ação construído na etapa anterior e adequando o cronograma. Também foram estabelecidas as ferramentas e técnicas a serem utilizadas para obtenção dos dados, tanto da pesquisa bibliográfica (artigos, teses, dissertações, livros, relatórios, etc.) bem como da pesquisa prática, através de entrevistas, questionários e observações (visitas técnicas).

- Etapa 2 – Pesquisa de campo. Esta etapa foi dividida nas seguintes tarefas:
 - (1) Visitas introdutórias destinadas a coleta de dados iniciais: nestas visitas foram efetuadas as medições, identificados pontos críticos e estabelecido o fluxograma produtivo que seria alvo de interferência. Esta etapa foi basicamente realizada mediante entrevistas com engenheiros e colaboradores do setor.
 - (2) Cálculos de engenharia para projeto: conforme mostrado no item 2.2 deste artigo, os cálculos foram realizados de acordo com especificações técnicas e manuais disponibilizados por fabricantes dos equipamentos testados.
 - (3) Projeto inicial com dimensionamento básico: trata-se dos croquis iniciais que foram discutidos com a equipe técnica interna de engenharia da fábrica e que forneceram as premissas definitivas para as análises de viabilidade econômica e gasto energético que foram o foco principal da pesquisa realizada.

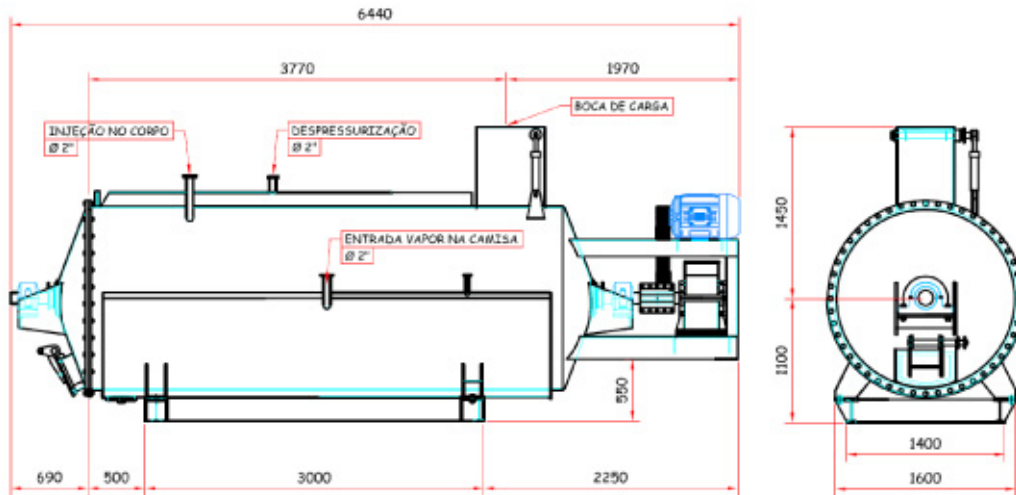
- Etapa três – Projeto detalhado e análises. Esta etapa foi dividida em:
 - (1) Projeto e dimensionamento dos transportadores: desenhos e cálculos.
 - (2) Medições de eficiência energética e eficácia produtiva: consistiu de simulações auxiliadas por computador e comparação de planilhas de gastos energéticos do sistema atualmente em uso e do sistema proposto.
 - (3) Projeto detalhado com especificações: trata-se do projeto final, com especificações de materiais e componentes dos transportadores projetados.

- Etapa 4 – Análises finais com foco na sustentabilidade. Esta etapa foi dividida em:
 - (1) Análise final das dimensões social e ambiental da sustentabilidade. Em virtude da complexidade, esse item foi abordado de modo conceitual, estabelecendo-se através dele as diretrizes para futuras aplicações em outras pesquisas.
 - (2) Análise final sob enfoque econômico da sustentabilidade. Corresponde a efetiva contribuição da presente pesquisa, ao mostrar a economia de energia e água obtida pela substituição do sistema atualmente em uso pelo proposto.

5. ESTUDO DE CASO

De acordo com o mostrado na figura 2 a fábrica usada como estudo de caso possui 4 digestores, todos com capacidade de 5.000 litros cada. Dois digestores processam os subprodutos “secos” como penas e ovos não eclodidos e os demais processam vísceras e demais órgãos não utilizados para alimentação humana, como pulmões e o próprio sangue. A figura 4 mostra esquematicamente um digestor de 5.000 litros, semelhante ao usado na fábrica em questão.

Figura 4 – Digestor esquematizado.



Fonte: Julian Indústria e Comércio (2013).

Parte do processo de carregamento dos digestores é manual, como mostra a Figura 5 (subprodutos secos) e parte é realizada por transporte pneumático, onde as vísceras são transportadas diretamente do abate até o silo de vísceras *in natura*, mostrado na Figura 6.

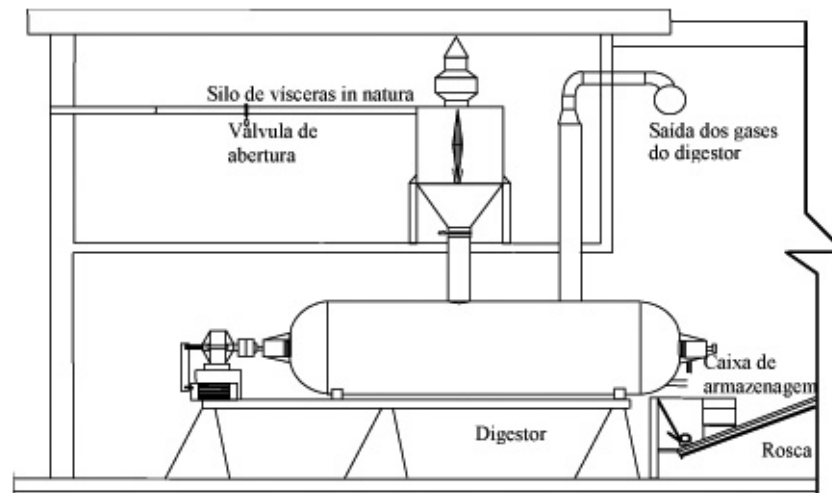
Figura 5 – Detalhe do carregamento manual de penas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2015).

Para o estudo inicial proposto, verificou-se a necessidade de se projetar dois transportadores de correia. Um com finalidade de evitar o transporte manual, que posteriormente poderá vir a auxiliar na integração da parte social com a econômica dos princípios da sustentabilidade definidos pelo modelo ESA. O outro transportador foi projetado para substituir o transporte pneumático que, teoricamente, consome mais energia. Também servirá para estudos posteriores a respeito da parte social, que representa graves consequências para a saúde dos trabalhadores do setor em virtude do transporte manual de penas.

Figura 6 – Detalhamento mostrando o silo de vísceras *in natura*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2015).

A Figura 5 mostrou detalhes desta operação. A força necessária para enchimento do carrinho já foi anteriormente calculada em 36 kg e, para o transporte, em 42 kg. Estes valores são maiores do que os recomendados pela ergonomia (GOMES FILHO, 2009).

Em dados encontrados no Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (MPS - Ministério da Previdência Social, 2012), verificou-se que 36% das causas de afastamento por licença médica em operários atuantes nos frigoríficos foram provocadas por dores nas costas, devido ao transporte contínuo de produtos com peso excessivo e posturas incorretas. De acordo com dados oficiais do MPS, quando se comparam os problemas de saúde gerados especificamente pelo abate e processamento de carne com os danos provocados por todos os demais segmentos econômicos brasileiros (exceto a construção civil), o resultado é alarmante. De acordo com dados encontrados em www.pco.org.br, a chance de um trabalhador vinculado ao abate de aves desenvolverem um transtorno de humor (depressão) é 3,41 vezes maior do que o registrado em outros segmentos industriais.

No caso específico do transporte manual de penas, o risco de sofrer uma lesão no punho ou nos nervos do braço é 743% maior do que em outras atividades laborais. Esses dados justificam a busca pela substituição do transporte manual. A Figura 7 mostra outra atividade relacionada, onde se pode perceber a postura dos operadores, promovendo tensões inadequadas nas costas, ombros e articulações.

Figura 7 – Operação de desobstrução dos transportadores.



Fonte: Elaborado pelos autores (2015).

Os dados iniciais foram coletados diretamente na fábrica. O material a ser transportado, no caso das penas tem o peso médio de 350 kg/m^3 e para as vísceras 1840 kg/m^3 . As distâncias: 47 metros lineares entre a parte de abate até a entrada dos digestores de penas, com elevação de 6,5 metros e 54 metros lineares entre a parte de abate até a entrada do silo de vísceras *in natura*, com elevação de 86,2 metros.

5.1. Projeto do transportador de correia

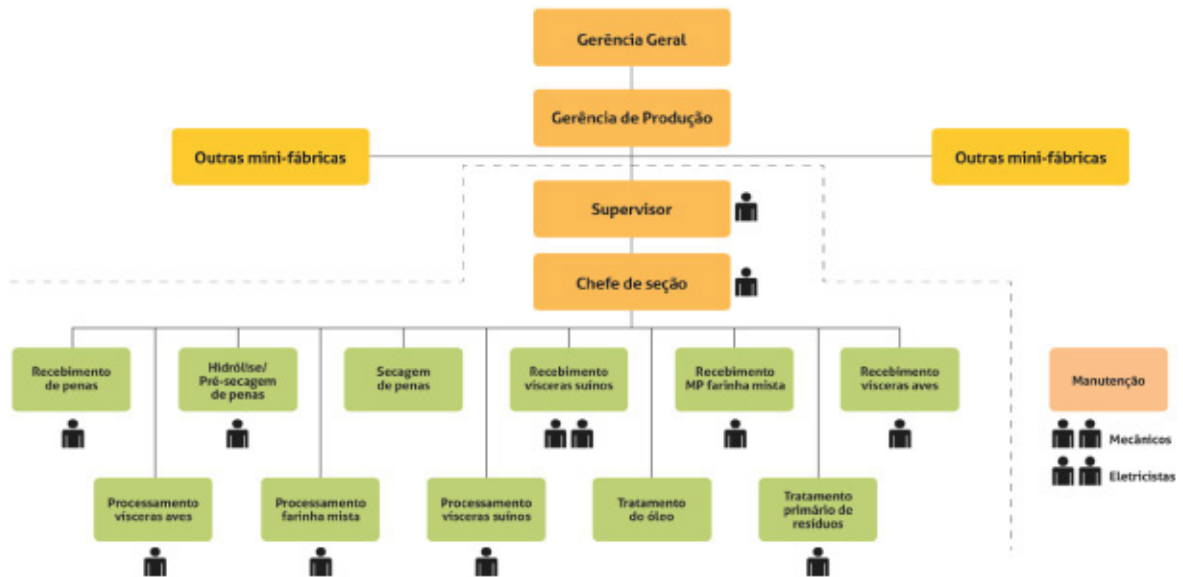
Antes de se iniciar o projeto propriamente dito, realizou-se uma análise dos recursos existentes na graxaria, o que é mostrado na Figura 8. O primeiro passo foi a retirada de dados para cálculo da potência necessária de acionamento. Para isso, utilizando a Tabela 2, considerou-se um material com peso semelhante ($\approx 0,35 \text{ ton/m}^3$), que indicou uma inclinação máxima de 180. A distância entre os centros de 47 metros foi relacionada com a altura do mezanino onde se encontram as bocas de carga dos digestores (6,5 metros) fornecendo o ângulo de transporte:

Equação 3 – Ângulo de transporte.

$$\alpha = \text{arc sen } \frac{6,5}{47} \quad (3)$$

$\alpha = 8,830$, ou seja, o sistema está compatível ao informado na tabela 2 (que apresenta como inclinação máxima para o material $\alpha = 180$). Para o cálculo da potência necessária ao transportador, de acordo com a Equação 3, o primeiro elemento a ser determinado é o fator de velocidade (ϕ), pela Tabela 7. Para isso, é necessário determinar-se a largura da correia, obtida pela Tabela 1.

Figura 8 - Diagnóstico dos recursos existentes na fábrica considerada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2015).

A largura da correia é dada em função da capacidade necessária de transporte. Esse dado é obtido diretamente da análise da vazão dos digestores. O sistema atual é de dois digestores com capacidade de 5.000 litros cada, mas existe a possibilidade de expansão do sistema devido ao aumento do abate, portanto considerou-se essa possível expansão no cálculo. A capacidade de transporte foi calculada estipulando-se um abate de 180.000 frangos por dia. Segundo Picchi (1994), as penas correspondem a 7,47% do peso das aves, o sangue a 0,79% e vísceras 7,86%. Com base nestes valores, foi possível estimar o fluxo horário de material a ser processado (considerou-se peso médio de 2,2 kg por frango): 29.576 kg de penas por dia (dimensionamento máximo), ou se o fluxo estiver constante, 3.697 kg/h de penas; e 34.256 kg por dia de vísceras (dimensionamento máximo), ou 4.282 kg/h de vísceras (se o fluxo estiver constante). A capacidade de transporte prevista deve ficar em torno de 84,51 m³/h.

Pela Tabela 1, optou-se por selecionar uma correia com largura igual 46 cm, que permite na velocidade máxima uma vazão de 144,4 m³/h, podendo, portanto ser utilizada 58,5% da capacidade máxima do transportador (em termos de manutenção é recomendável que se utilize até 80% da capacidade máxima do transportador). Assim, de acordo com a Tabela 7, o fator de velocidade considerado fica estabelecido em 0,1148. Também pela Tabela 1, fica determinada como velocidade máxima 137 m/min, porém a velocidade efetiva pode ser considerada como 80,18 m/min, de acordo com o mostrado na Equação 4.

Equação 4 – Velocidade efetiva.

$$V_{efetiva} = \frac{84,51.137}{144,4} \quad (4)$$

A capacidade de transporte para esse transportador foi calculado em 29,58 ton/h ($84,51\text{m}^3/\text{h} \times 0,35 \text{ ton}/\text{m}^3$). O coeficiente dos mancais é função do fabricante, e seu valor oscila entre 0,7 (mancais de deslizamento) a 1,0 (mancais de rolamentos de esferas). No caso do presente projeto o valor fornecido foi de 0,85.

O fator de comprimento é estipulado de acordo com a Tabela 8, e ficou determinado, mediante interpolação de dados, em 1,1274. O rendimento do mecanismo foi informado pelo fabricante como sendo de 82,5%. De posse de todos os dados, calculou-se a potência necessária ao transportador:

Equação 5 – Potência necessária ao transportador.

$$N = \left[\frac{(0,1148 \cdot 80,18 + 0,0757 \cdot 29,58) \cdot 47 \cdot 0,85}{305} + \frac{6,5 \cdot 29,58}{305} \right] \cdot \frac{1,1274}{0,825} \quad (5)$$

$N = 3,02 \text{ HP}$, que equivale a 3,06 CV. Na prática, portanto, o motor utilizado será de 3 CV.

Prosseguindo com o projeto, a determinação do acionamento é obtida pela Tabela 3, sendo o sistema considerado adequado através do acionamento com tensor a 2100. Com isso, utilizando-se a Equação 1, determina-se o número de lonas do transportador:

Equação 6 – Número de lonas do transportador.

$$n = \frac{4486 \cdot 3,02 \cdot 1,67}{80,18 \cdot 46 \cdot 4,5} \quad (6)$$

O sistema projetado será com 3 lonas (o valor indica 2 lonas, mas pela largura da correia 3 é o número mínimo permitido). Para determinação do diâmetro da polia utiliza-se a tabela 6 e converte-se a largura da correia para polegadas. No caso do presente “projeto: 18,11”, ou seja, o diâmetro mínimo da polia de acionamento dever ser de 30”.

O procedimento adotado para o projeto do transportador de correias para as vísceras foi o mesmo, tendo como resultado a necessidade de um transportador com potência de 3 CV também. Para que se tenha um referencial de economia, um transportador pneumático para essa distância necessitaria de um sistema de motor / redutor de 5 CV. Neste caso a economia diária é significativa reduzindo o consumo de 29,83 kWh para 17,89 kWh.

5.2. Principais modificações resultantes do projeto

A substituição do transporte manual pelo automatizado proporcionou vantagens consideráveis do ponto de vista da sustentabilidade:

- Na esfera puramente econômica, a redução do consumo em kWh é significativa e poderá servir como base para outros projetos semelhantes no próprio frigorífico. As obras necessárias foram estimadas pela engenharia para conclusão em 4 meses. O custo das obras civis não é demasiadamente elevado porque não será necessária a modificação dos pavilhões, exceto a construção de alicerces e apoios para os transportadores.
- Na esfera social e econômica tem-se a redução de incidência de afastamentos médicos por consequência de lesões ocasionadas por posturas incorretas e transporte excessivo de peso. O custo de um colaborador afastado por problemas médicos é considerável e esse tipo de incidência é bastante prejudicial a imagem da empresa.
- Na esfera ambiental e econômica tem-se a redução do consumo de água, estipulada atualmente em 30 litros de água/frango (PRUDENTE *et al.*, 2012), visto que o sistema automatizado permitirá a reutilização da água para lavagem das penas, o que não ocorre no processo manual. A redução de consumo neste caso foi estimada pelos cálculos iniciais em 18%, reduzindo, portanto para 24,6 litros de água/frango.

A substituição do transporte por rosca pelo transporte por correia também proporcionou vantagens, principalmente na esfera econômica pela redução da potência necessária para acionamento. O custo de manutenção do equipamento por correia também é menor do que por rosca, desde que seja obedecido o programa de manutenção preventiva, evitando danos nas lonas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com Freire (2012), as exigências da legislação nacional sob o aspecto ambiental estão obrigando as empresas a buscarem diferentes soluções para tornarem os processos produtivos menos poluentes. A solução ainda mais utilizada é a *end-of-pipe*, ou seja, o investimento em sistemas de tratamentos de efluentes.

No entanto, considerando a sustentabilidade, existe um longo caminho a ser percorrido até o consumo limpo (Figura 1). Cientes de que isso demanda pesquisas há médios e longos prazos, as empresas tem se esforçado em adaptar seus sistemas de *end-of-pipe* proporcionando não somente o tratamento final dos dejetos, mas também proporcionando, quando possível a reciclagem, redução e reaproveitamento. As modernas ETDI (Estações de Tratamentos de Dejetos Industriais) são projetadas nesta ótica e fornecem condições mais eficazes de reaproveitamento.

O principal benefício foi constatado na substituição do transporte manual. Atualmente a questão do consumo de água é primordial e já existem diversos sistemas de certificação para edifícios e indústrias que conseguem economizar água, como por exemplo, a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*). Ambas as certificações foram criadas originalmente para edifícios e grandes obras civil, mas podem ser aplicadas para indústrias. Essa economia pode vir da necessidade menor de utilização de água propriamente dita (como a que se consegue evitando-se o transporte manual).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. **Os Desafios da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BELLAVER, C.; CARLI, H.; PRUDENTE, D. N. **Águas residuais residenciais: problema ou oportunidade?** Graxaria Brasileira - Reciclagem Animal. 29. ed, Editora Stilo, n. 5, 2012.
- BLEDA, M.; VALENTE, M. **Graded eco-labels: A demandoriented Approach to reduce pollution.** Technological Forecasting and Social Change, v. 76, n. 4, p. 512–524, 2009.
- BRASIL, E. **Conformação Mecânica**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), apostila do curso de Engenharia Mecânica, 2006.
- GOMES FILHO, J. **Sistema Técnico de Leitura**. 2009. Disponível em <<http://www.joaogomes.com.br/ERGONOMIA.pdf>>. Acesso em: set. 2014.
- JULIAN. **JULIAN INDÚSTRIA E COMÉRCIO**. Disponível em: <www.julian.ind.br>. Acesso em: set. 2014.
- LIBRELOTTO, L. I.; FERROLI, P. C. M.; MUTTI, C. N.; ARRIGONE, G. M. **A Teoria do Equilíbrio**. Florianópolis: DIOESC, 2012.
- LIN, P. C.; HUANG, Y. H. The Influence Factors on Choice Behavior Regarding Green Products Based on the Theory of Consumption Values. **Journal of Cleaner Production**, v. 22, n. 1, p. 11–18, 2012.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Design and Innovation for Sustainability**. Milan: Italy, Politecnico de Milano, 2008.
- NIELSEN, P. H.; WENZEL, H. Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 247-257, 2002.
- PCO. **Principais frigoríficos do País são campeões em acidentes de trabalho**. Disponível em: <http://www.pco.org.br/conoticias/ler_materia.php>. Acesso em: out. 2012.
- PICCHI, V. Graxaria: Estrutura e Operacionalização. In: Abate e Processamento de Frangos. **Co-leção FACTA**, 1994.
- SILVA, M. R. S. **O processo de auditoria ambiental como instrumento de gestão: um estudo de caso na indústria de auto-peças**. 120f. Dissertação (Mestrado). 2013. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, 2013.
- THRANE, M.; NIELSEN, E. H.; CHRISTENSEN, P. Production in Danish Fish Processing - processing – experiences, status and possible future strategies. **Journal of Clean Production**, v. 17, p. 380-390, 2009.
- VENDRAMETTO, O; PALMERI, N; OLIVEIRA NETO, G. C; PERRETI, D. O. Cleaner Production: A Growing Movement In Brazilian Companies. **Revista Produção on line**, v. 10, n. 1, p. 49-70, 2010.
- SUKI, N. M. Green Products Purchases: Structural Relationships of Consumer's Perceptions of Eco-label, Eco-brand and Environmental Advertisement. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2013.