

ENTRAVES TECNOLÓGICOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE INOVAÇÃO AMBIENTAL EM PLANTAS INDUSTRIAIS BRASILEIRA DE CARNE BOVINA

1 INTRODUÇÃO

A inovação tecnológica proporciona vantagem competitiva para organizações, auxiliando na diversificação de mercado e gerando novas oportunidades comerciais (CHEGE; WANG, 2020). A inovação tecnológica de produto é o resultado da produção e comercialização de novos bens - produtos ou serviços - ou com melhores características de desempenho, e inovação tecnológica de processo corresponde à implementação ou adoção de um processo de produção novo ou melhorado. Representa a execução de novos métodos de produção ou distribuição, abrangendo mudanças significativas nas técnicas, equipamentos ou *softwares* (OECD; 2005).

A inovação ambiental tecnológica auxilia na qualidade dos processos operacionais relacionados aos aspectos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável (ZHU; ZHANG, 2018). As tecnologias de remediação visam solucionar um problema ou dano ambiental decorrente do processo produtivo, como a qualidade do ar, da água e do solo. Contudo, estas tecnologias são complexas e demandam altos investimentos em equipamentos e instalações (SRIVASTAVA, 2007).

Na indústria de carne bovina, a inovação tecnológica de processo acontece com a implementação de produtos e processos tecnologicamente novos ou a realização de melhoramentos tecnológicos significativos (OECD; EUROSTAT, 2005), como as compras de equipamentos automáticos ou na atualização do *lay-outs* das fábricas (WAKEFORD et al., 2017). A indústria de processamento de carne compreende as empresas responsáveis por transformar insumos e matéria-prima em produto acabado (DJEKIC, 2015), a comercialização que inclui empresas que estão em contato direto com o cliente final da cadeia produtiva e que viabilizam o consumo e o varejo dos produtos finais, nesse segmento inclui as empresas de logística e distribuição (DJEKIC; TOMASEVIC, 2016; LOPEZ-RIDAURA 2009).

Na produção primária, é realizado o transporte do animal das fazendas para o frigorífico, onde são processados a carne e os subprodutos; o couro do animal; os subprodutos não comestíveis, que são utilizados em outros processos industriais; e os materiais de risco específicos (SRM) que precisam ser incinerados (MOGENSEN et al., 2016). No tratamento dos resíduos da indústria de carne são utilizadas práticas inovadoras que visam a redução de impactos ambientais, como os aterros, o tratamento anaeróbico, a compostagem, a queima, a incineração e a reciclagem (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013). Dessa forma, evita-se o desperdício que é indício da ineficiência dos processos produtivos utilizados, representando perdas de matérias-primas e insumos, além dos danos ao meio ambiente (PACHECO; YAMANAKA, 2008).

A cadeia produtiva da carne bovina brasileira apresenta uma posição de destaque no contexto da economia mundial. Em 2017, as exportações de carne bovina cresceram 12% em relação ao ano anterior, chegando a movimentar U\$ 6,07 bilhões. Em 2018 a exportação foi de 7,9% acima do ano anterior, gerando uma receita de U\$ 6,53 bilhões e, em 2019, teve um aumento 14,5%, com uma receita de US\$ 7,57 bilhões. Em 2020, as exportações tiveram uma alta de 8%, atingindo uma receita recorde de US\$ 8,4 bilhões, mantendo-se na liderança de maior exportador de carne do mundo (ABRAFRIGO, 2021). Em razão desses altos números, o impacto ambiental oriundo da indústria de carne bovina no Brasil é alto (FAO, 2021; EMBRAPA, 2021), com uma produção de 2,2 milhões de toneladas e 14,4% do mercado internacional e com grandes instalações de processamento da carne (EMBRAPA, 2021).

Nessa perspectiva, o objetivo desta pesquisa é analisar os entraves tecnológicos para a implementação de tecnologias limpas no processo de produção de carne bovina.

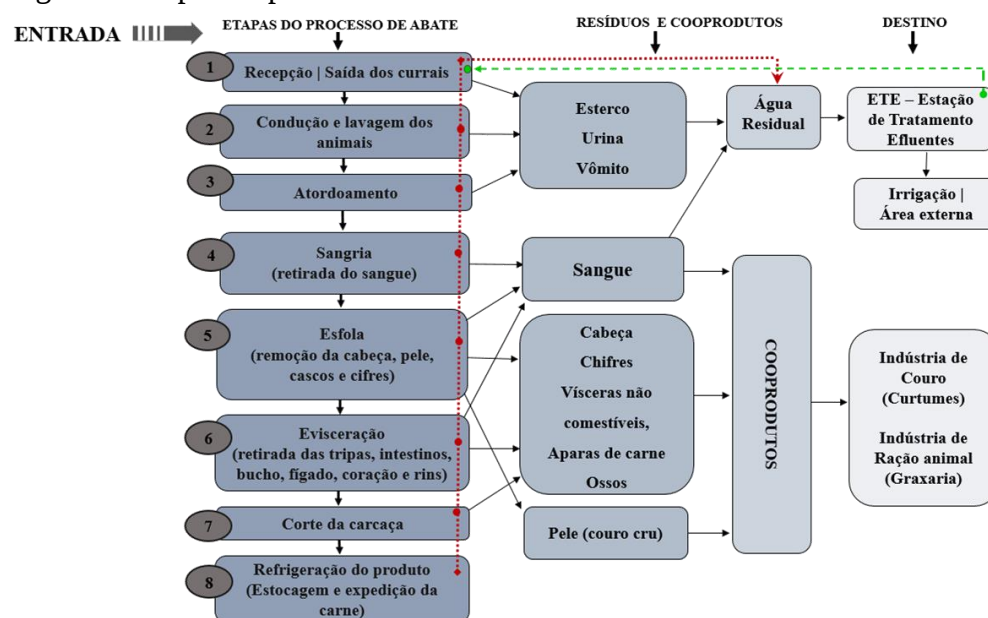
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo discorre sobre a indústria de processamento da carne bovina, os respectivos impactos ambientais e as tecnologias implementadas no processo produtivo para mitigar impactos ambientais.

2.1 Etapas do processo produtivo e aspectos ambientais da indústria de processamento de carne de bovina

Os setores da cadeia produtiva da carne são divididos em três principais unidades de negócios, dos quais: no frigorífico é que realiza o abate dos animais e todo o processamento da carne (DJEKIC, 2015), são equipados com instalações de frio industrial que corresponde ao ambiente de baixa temperatura para conservação dos materiais passíveis de se alterarem por efeito do calor (BRASIL; RIISPOA, 2017). Essas unidades realizam o recebimento, a manipulação, a industrialização, o acondicionamento, a rotulagem, a armazenagem e a expedição de produtos comestíveis e não comestíveis (PONTOPPIDAN; et al., 2016) produzindo carcaças, carne com ossos, e vísceras comestíveis (MOGENSEN et al., 2016). A Figura 1 apresenta as etapas do processo de abate bovino.

Figura 1- Etapas do processo de abate bovino



Fonte: Autoras

Nota: Elaboração com base em CETESB, 2006; Pacheco; Yamanaka, 2008; Claas; Maia, 2003; Nguyen; Hermansen; Mogensen, 2010; Mogensen et al., 2015.

O processo começa com a recepção dos animais, que são lavados com jatos de água clorada. Neste processo, há a redução do *stress*, para baixar os níveis de adrenalina e melhorar a qualidade da carne, e a diminuição do conteúdo estomacal do animal (BUGALLO et al., 2014). O efluente da água utilizada nessa limpeza, juntamente com os dejetos dos animais (LAWRIE, 2005) e outras sujidades, são enviados para uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (BRASIL; MAPA, 2018; TERLOUW, 2005). O esturme produzido durante o transporte e nos matadouros, em alguns países são utilizados para a produção de biogás e o resíduo é aplicado nos campos como fertilizante (MOGENSEN et al., 2016).

A etapa atordoamento é realizada com uma marreta pneumática, com pino retrátil, que é aplicada na parte superior da cabeça dos animais, perfurando o osso do crânio e destruindo parte do cérebro (CETESB, 2006; LAWRIE, 2005; TERLOUW, 2005). Esta fase tem como objetivo deixar o animal inconsciente, impedindo que o animal sinta dor ou aflição no momento da degola ou sangria (BUGALLO et al., 2014). Durante o processo de atordoamento, é comum que os animais vomitem e urinem (GREGORY, 2005), em razão

disso, recebem jatos d'água para limpeza, gerando água residual que seguirá para a ETE (BRASIL; MAPA, 2008; BUGALLO et al., 2014).

Os animais são levados pelo trilho até a calha onde é realizada a Sangria. Nesta etapa é seccionado os vasos sanguíneos do pescoço do boi, escorrendo o sangue do animal suspenso, ocorrendo a morte pela falta de oxigenação do cérebro (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015). O sangue é coletado por uma calha e direcionado para tanques, gerando cerca de 15 a 20 litros de sangue por animal (BRASIL; MAPA, 2008). Este resíduo destina-se à fabricação de ração, na forma de farinha, como suplemento proteico (BELLAYER; ZANOTTO, 2004). É utilizado uma grande quantidade de água para lavagem do local de sangria (BUGALLO et al., 2014) e equipamentos utilizados no processo, (LAWRIE, 2005; TERLOUW, 2005), que é encaminhada para ETE (BRASIL; MAPA, 2008).

A etapa da Esfola tem como objetivo a remoção da cabeça, a qual é enviada para graxarias, e a retirada do couro, que é encaminhado para os curtumes (PACHECO; YAMANAKA, 2008) e o corte das patas dianteiras e traseiras, para aproveitamento dos mocotós (BRASIL; MAPA, 2008), que são inspecionados e encaminhados para o processamento, quando não são aprovados, são enviados para a produção de farinhas nas graxarias, junto com os chifres (PACHECO; YAMANAKA, 2008). Após a esfola, o couro pode seguir diretamente para os curtumes, mas também pode ser descarnado ou salgado no próprio abatedouro (BUGALLO et al., 2014; LAWRIE, 2005; TERLOUW, 2005). Existem processos de lavagem durante essa etapa para garantir melhor visualização das estruturas do animal, e os efluentes líquidos, água e sangue, também são direcionados para uma ETE (BUGALLO et al., 2014; BRASIL; MAPA, 2008).

A etapa Evisceração envolve a remoção das vísceras abdominais e pélvicas, além dos intestinos, bexiga e buxo. É uma etapa muito meticulosa, pois a falta de higiene pode afetar a qualidade da carcaça. Geralmente, todas as partes removidas são carregadas em bandejas da mesa de evisceração para a inspeção, caso sejam aprovadas na inspeção são transportadas para a área de processamento, e se condenadas, são direcionadas para indústria de processamento de ração animal (BUGALLO et al., 2014). As tripas, são salgadas e utilizadas para fabricação de embutidos ou para aplicações médicas (BUGALLO et al., 2014). O estômago é esvaziado, limpo e salgado, ou pode ser cozido (LAWRIE, 2005) e por vezes submetido ao branqueamento com peróxido de hidrogênio (produtos químicos), para posterior refrigeração do produto, até o momento que for expedido para comercialização (TERLOUW, 2005). Em seguida, é feita a inspeção sanitária, e após liberação há o procedimento de lavagem (PACHECO; YAMANAKA, 2008), os resíduos gerados são oriundos das águas de lavagens durante o processo para melhor visualização de estruturas do animal, sangue, fragmentos cárneos e restos orgânicos oriundos da pata do animal. Além da água resultante da máquina lavadora de buchos, que no final do processo, são encaminhados para ETE (BUGALLO et al., 2014).

Na etapa Corte da Carcaça há a operação de cortes e desossa e as carcaças resfriadas são divididas em porções menores para comercialização ou posterior processamento para produtos derivados. A desossa é realizada manualmente, com auxílio de facas (BUGALLO et al., 2014), já as aparas resultantes desta operação são geralmente aproveitadas na produção de derivados de carne (LAWRIE, 2005; BUGALLO et al., 2014). Em seguida passam por um processo de limpeza, no qual pequenas aparas de gordura com alguma carne e outros tecidos sem carne são removidos, sendo lavadas com água pressurizada, que removerá as partículas ósseas, que serão encaminhadas à graxaria para um novo processo industrial (BRASIL, 2008; PACHECO; YAMANAKA, 2008), já a água residual é encaminhada para ETE (BUGALLO et al., 2014).

Finalizado a etapa anterior, o produto é refrigerado e/ou congelado em câmaras refrigeradas para evitar a proliferação de micro-organismos (BUGALLO et al., 2014). A

maioria dos produtos cárneos processados também se manipulam a baixas temperaturas de refrigeração (até 2°C - dois graus centígrados), também nas outras etapas do processo, do momento final de sua elaboração até o consumo (PACHECO; YAMANAKA, 2008; DJEKIC et al., 2015), finalmente são embalados e armazenados em câmaras frigoríficas até a entrega (LAWRIE, 2005; TERLOUW, 2005). O Quadro 1 sintetiza as etapas do processo produtivo do abate.

Quadro 1 – Síntese do processo de abate bovino

Etapas	Definições	Autores utilizados
Recepção	Onde inicia o processo de abate. Os animais são recebidos, os animais descansam e são limpos para redução do stress	Bugallo et al., 2014; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005; BRASIL; MAPA, 2018
Condução e lavagem dos animais	Os animais são conduzidos para matança. São mantidos em lotes, e em seguida lavados com água clorada.	Bugallo et al., 2014; Lawrie e Mogesen et al., 2005; BRASIL; MAPA, 2018; Terlouw, 2005;
Atordoamento	Processo realizado com uma marreta pneumática, com o objetivo de deixar o animal inconsciente e impedindo que o animal sinta dor ou aflição no momento da degola.	CETESB, 2006; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005; Bugallo et al., 2014; Gregory, 2005; BRASIL; MAPA, 2018
Sangria	Etapa que os vasos sanguíneos são seccionados no pescoço, ocorrendo a morte cerebral, por falta de oxigênio. Os chifres são serrados e o sangue colhido	Bustillo-Lecompte; Mehrvar, 2015; Bugallo et al., 2014; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005; BRASIL; MAPA, 2008; Bellaver e Zanotto, 2004.
Esfola	É realizado a remoção da cabeça, cortes das patas dianteiras e traseiras e a retirada do couro	Pacheco, 2008; BRASIL; MAPA, 2008; Bugallo et al., 2014; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005;
Evisceração	Processo que ocorre a remoção das vísceras, intestinos, bexiga e buxo.	Bugallo et al., 2014; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005; BRASIL; MAPA, 2018; Pacheco, 2008
Corte da carcaça	Operação de cortes e desossa, as carcaças são divididas em porções menores e retiradas as aparas de carne.	Bugallo et al., 2014; Lawrie, 2005; Terlouw, 2005;; Bugallo et al., 2014; Brasil, 2008; Pacheco, 2007
Refrigeração	Etapa do processo que o produto é refrigerado, embalado e armazenado até a entrega do consumidor.	Bugallo et al, 2014; Pacheco, 2008; Djekic, 2015; Lawrie, 2005

Fonte: Autoras

O uso de tecnologias inovadoras permite a correta realização do processo de abate, propiciando uma melhor qualidade visual do produto, evitando que a carne dos animais fique escura, além de fazer uma sangria apropriada, com qualidade sensorial para evitar endurecimento da carne quando aplicado a estimulação elétrica, assim como o correto resfriamento da carcaça. Esses aspectos são determinantes da qualidade higiênico-sanitária, pela redução da possibilidade de contaminação ou pela inspeção e liberação de carcaças sem o risco de transmitir doenças (EMBRAPA, 2018).

A energia e a água são insumos essenciais para a maioria dos processos produtivos, não sendo diferente na indústria de carne bovina, que deve alcançar o máximo de eficiência produtiva de forma a reduzir os custos de produção. As plantas de processamento de carne têm suas características específicas devido à quantidade de matérias-primas processadas, à tecnologia de produção, ao grau de mecanização da produção e à utilização do espaço. Todas estas características afetam a variabilidade no consumo de energia e água (GOLEMAN, 2009), conforme observado nos tópicos a seguir.

2.2 Consumo de energia e tecnologias de remediação

O consumo de energia da indústria de carne é diferente de uma indústria para a outra (IPPC, 2006; RAMIREZ; PATEL; BLOK, 2006), haja vista que a variação no consumo de energia está relacionada ao tamanho das plantas de processamento de carne (WOJDALSKI et al., 2013), assim como os equipamentos utilizados (FRITZSON; BERNTSSON, 2006;

WOJDALSKI et al., 2013), a mecanização de processos produtivos e a quantidade de matérias-primas processadas (NORTON; SUN 2008).

A Tabela 1 apresenta os valores médios do consumo de energia, em *quilowatt*-hora e os equipamentos que mais utilizam energia nas plantas de processamento de carne.

Tabela 1 - Consumo de energia por tipo de equipamento elétrico na indústria de carne

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTAL. [Kwh]	(%)
Cortadores e moedores	40.0	22,2%
Casas de fumo, fogões elétricos	28.0	15,6%
Máquina de refrigeração	10.0	5,5%
Caldeiras elétricas gera água quente para limpeza de equipamentos e esterilização)	7.0	3,9%
Tambores cilíndricos (para salga úmida/salmouragem)	5.5	3,1%
Iluminação de plantas	9.0	5,0%
Outros dispositivos com até 5 Kwh	80.5	44,7%
TOTAL	180.0	100%

Fonte: Adptado de Wojdalski et al., 2013, p. 21

A média de consumo de energia primária do setor - gás natural, petróleo ou combustíveis fósseis - entre 40% e 60% foi utilizado somente pelo processamento adicional, tais como os processos industriais, manutenção de equipamentos e estrutura, do setor da carne (RAMIREZ et al., 2015). A Tabela 2 apresenta o setor que mais demanda energia elétrica na indústria frigorífica, em países da União Europeia, destacando-se a refrigeração do produto com maior demanda de energia (UNEP, 2000).

Tabela 2 - Porcentagem do consumo de energia elétrica na indústria de carne bovina

OPERAÇÃO	% TOTAL
Recepção Condução e lavagem	6
Processamento de Abate	5
Limpeza esterilização de equipamentos higienização das mãos/luvas	10
Processamento de subprodutos / Evisceração	9
Área de desossa	11
Refrigeração	59

Fonte: UNEP, 2000, p. 68

A UNEP estabeleceu três níveis para o uso de tecnologias em relação ao consumo de energia em Kwh/animal, para indústria de processamento de carne. O primeiro, refere-se a Tecnologia Tradicional, caracterizada por baixo uso de capacidade instalada, com consumo de 300 Kwh/animal e não tem prática de produção mais limpa, geralmente estão associadas a indústria localizadas em países em desenvolvimento. O segundo nível é a Tecnologia intermediária, com consumo de 125 Kwh/animal que está relacionada a indústrias de processamento de carne com pouco uso de métodos de produção mais limpa; e o terceiro nível é a Melhor Tecnologia, com consumo de apenas 70 Kwh/animal, definida como frigoríficos que utilizam toda a capacidade instalada e métodos de produção mais limpa para melhor eficiência do processo produtivo e minimização de danos ao meio ambiente (UNEP, 2002).

2.3 Consumo de água e tratamento de efluentes

A água representa um desafio operacional e uma oportunidade para o crescimento da indústria de carne (DJEKIC et al., 2015). A indústria de carne apresenta uma das principais fontes da poluição orgânica que conduz em larga medida à degradação do ambiente (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005; CHINDE et al., 2014). As questões ambientais mais significativas da indústria de processamento de carne estão relacionadas à água: como o alto consumo, a emissão de águas residuais de alta resistência orgânica, a emissão de odores para o ar e a mortes de animais aquáticos (MANIOS et al., 2003). Os incentivos para o uso de tecnologias que minimizem o consumo da água – incluindo o uso das águas residuais e o

reuso de águas tratadas – representam uma economia de custos e uma menor dependência dos recursos hídricos (FAO, 2013).

A indústria de carne produz um grande volume de águas residuais que consistem numa variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos (MASSÉ, D.; MASSE, L., 2000; MOUKAZIS et al., 2018), metais pesados que o organismo não é capaz de eliminá-los e ovos parasitários (BOHDZIEWICZ; SROKA, 2005). A água residual da indústria de carne contém altos níveis de matéria orgânica devido à presença de estrume, fragmentos de carne, vísceras (JAYATHILAKAN et al., 2012; MASSÉ, D.; MASSE, L., 2000) sangue, que tem a maior resistência de todos os efluentes líquidos, gerados no processamento da indústria de carne, chegando até 375.000 mg/l de Demanda Química de Oxigênio – COD (CAO; MEHRVAR, 2011; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR; QUIÑONES-BOLAÑOS, 2013). Há uma composição complexa de gordura, conteúdo estomacal não digerido (DJEKIC et al., 2016; KUPUSOVIC et al., 2007), proteínas e fibras do processo de abate (WU; MITTAL, 2011; BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014), e de materiais altamente putrescíveis, que entram em decomposição poucas horas depois da sua geração (WU; MITTAL, 2011; ZHU et al., 2009). O sistema de irrigação de águas residuais tratadas pela ETE tem revelado benefícios na produtividade das culturas, além disso, é uma opção viável, pois o setor agrícola é o maior usuário de todas as fontes de água (SINGH, 2021).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se a abordagem qualitativa e o procedimento do estudo de caso com unidades de análises incorporadas. Para aumentar a confiabilidade da pesquisa, foram utilizadas as principais fontes de evidência destacadas por Yin (2015), como: informação documental, registros em arquivos das indústrias, entrevistas com um roteiro semiestruturado e dados visuais.

Na primeira etapa da pesquisa, foi realizado o levantamento das informações documentais e registros em arquivos que foram feitos a verificação dos aspectos ambientais significativos dos processos produtivos das indústrias envolvendo as unidades de análise, o estudo dos processos por meio do Relatório de Sustentabilidade e de processos internos da indústria. A pesquisa documental incluiu a análise dos fluxos dos processos, documentos administrativos internos, relatórios, estudos, publicações, mapas e tabelas. Para Yin (2015) esta etapa corrobora e valoriza as evidências oriundas de outras fontes.

Na segunda etapa, foram realizadas entrevistas com atores ligados diretamente a indústria de processamento de carne bovina. Dentre os entrevistados, estão: pesquisadores da EMBRAPA, especialistas da área de inovação tecnológica de frigoríficos, gestores ambientais de dois principais frigoríficos do Brasil e pecuarista que atua diretamente em frigoríficos. As entrevistas e o questionário foram elaborados com base nas categorias teóricas levantadas na revisão da literatura, e o roteiro de entrevista foi revisado e validado por pesquisadores, com larga experiência na área ambiental. Para garantir o anonimato dos entrevistados foram atribuídos códigos de referência para cada um, o tempo de experiência no setor conforme apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Códigos de referência dos entrevistados na pesquisa

Formação / Cargo do entrevistado	Código	Tempo de experiência	Referência	Tempo de duração
Engenheiro Ambiental Especialista / Consultor do setor Tecnológico de frigoríficos	EEA	5 anos	Entrevista	1h50'
Engenheiro Mecânico Especialista / Consultor do Setor tecnológico de frigoríficos	EEM	35 anos	Entrevista	1h40'
Engenheiro Mecânico / Especialista em tecnologias inovadoras do setor de frigoríficos	ECF	18 anos	Questionário	-
Químico / Gestor Ambiental de Frigorífico - Frigorífico 1	EGA	5 anos	Questionário	-
Engenheira Ambiental / Gestora de Meio Ambiente de	ESA	7 anos	Entrevista	2h02'

frigorífico – Frigorífico 2				
Ecologista / Pesquisador de Agropecuária / EMBRAPA	EPA	18 anos	Questionário	-
Pecuarista / Prestador de Serviço de Frigorífico	PEC	22 anos	Entrevista	1h40'

Fonte: Autoras

As entrevistas realizadas com os entrevistados EEA, EEM, EPA e EEP foi conduzida via *skype* usando a ferramenta de *webcam*. Ao longo da entrevista alguns dos assuntos estudados já foram emergindo e incorporados na análise, como informações disponibilizadas pelos entrevistados em outras fontes de dados. As informações foram gravadas, com autorização dos entrevistados, no aplicativo *Amolto Call*, e depois transcritas, manualmente.

A terceira etapa, foi realizada por meio de dados visuais, com a utilização de oito vídeos que mostraram as etapas de processamento do abate bovino. Esta etapa favoreceu uma melhor compreensão do funcionamento dos processos em diferentes plantas indústrias de frigoríficos. A utilização do elemento visual na investigação qualitativa informa, elucida, documenta, acrescenta valor e sentido ao fenômeno estudado (BERGER, 1990). Dentre esses oito vídeos, foram analisados principalmente os vídeos dos frigoríficos pesquisados.

Após concluída a coleta dos dados foi realizada a interpretação e análise dos resultados à luz das questões de investigação formuladas, através da triangulação de dados. É na etapa da análise dos dados, que envolve a preparação, condução de diferentes análises, aprofundamento nas informações dos dados coletados (CRESWELL, 2010). Dessa forma, foi possível triangular as informações contidas nos documentos, nos registros, nas entrevistas e questionários e nos dados visuais. Com base nas descobertas provenientes da teoria levantada, da triangulação das informações e do modelo de delimitação, o conteúdo pôde ser compreendido de forma profunda e completa.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

Neste item são apresentados os resultados da pesquisa realizada e consultores da área ambiental e tecnológica de frigoríficos, pecuarista e pesquisadores da EMBRAPA que atuam em indústrias de processamento de frigoríficos no Brasil, baseada em evidências empíricas, coletadas por meio de entrevistas e em outras fontes de informação.

4.1 Fontes de energia utilizadas na indústria de carne bovina

As principais fontes de energia de frigoríficos são a energia elétrica e a energia térmica, predominantemente a energia elétrica (EEM, EEA, EGA, ECF, ESA, EPA, PEC). A refrigeração dos motores e compressores dos frigoríficos é feita com energia elétrica, que vem das concessionárias de energia. A energia térmica, que é o vapor usado para o aquecimento de água no processo, é produzida com biomassa, gás ou petróleo, dependendo de cada frigorífico. Em São Paulo, por exemplo, é muito utilizado a queima do bagaço de cana no aquecimento das caldeiras (EEM).

As fontes alternativas de energia nas indústrias de carne bovina não são utilizadas. A energia solar, por exemplo, não atende à demanda de energia nos processos de frigoríficos (EEM, ECF), em razão disso é utilizada somente para iluminação de plantas menores por não ser suficiente para cobrir alta demanda de energia dos grandes frigoríficos (EEM, ECF, EEA, EPA). Além disso, o investimento é alto, com baixo retorno ou *payback* longo (EGA). Segundo os entrevistados não há investimento em energia eólica pelas indústrias de processamento de carne bovina. (EEM).

Como forma de economia de energia, alguns frigoríficos utilizam o KPI's, ou seja, Indicadores-Chaves de Desempenho de eficiência energética (EGA), outros apenas fazem conscientização dos funcionários, utilização de sensores na parte interna dos frigoríficos e lâmpadas LED. No entanto, não há equipamentos inovadores para auxiliar na redução do consumo de energia nos processos (ESA, PEC). O consumo médio de energia elétrica utilizado nas operações de processamento de carne bovina é apresentado na Tabela 3, mostrando o percentual médio de cada operação (EGA).

Tabela 3 – Percentual médio do consumo de energia por operação

OPERAÇÃO	% TOTAL
Recepção Condução e lavagem	0,5%
Processamento de Abate	5%
Limpeza esterilização de equipamentos higienização das mãos/luvas	0% (vapor)
Processamento de subprodutos	5%
Área de desossa	5%
Corte da carcaça	3%
Refrigeração	80,5%

Fonte: EGA, 2018

As principais tecnologias ambientais para redução de consumo energia nas indústrias frigoríficas ainda são muito incipientes no Brasil. As principais dificuldades para investimentos em novas tecnologias para redução de consumo de energia ou aplicação de energia alternativa eólicas e fotovoltaicas é o alto custo dos impostos (EEM, EGA, ECF, ESA), além da falta de incentivos fiscais no Brasil (EGA, ECF). Para tecnologias adquiridas em outros países, a taxa de importação é alta, o que ocasiona altos custos, devido à desvalorização do real, frente ao euro e ao dólar. A fabricação de equipamentos no Brasil ainda é pouca, em razão da falta de financiamentos e principalmente a compreensão das vantagens ambientais através da recuperação de energia por parte dos frigoríficos (ECF).

Os investimentos em tecnologias que reduzem o consumo de energia serão efetivamente implantados nos frigoríficos brasileiros quando o custo de energia for alto (EEA, ECF, PEC). A energia barata ainda é uma vantagem em comparação com países da Europa, que tem uma das matrizes enérgicas mais cara, por isso os frigoríficos da Europa investem mais em energias alternativas (EEM, ECF). As tecnologias utilizadas nos processos já estão ultrapassadas, o que leva ao alto consumo de energia.

Existem atualmente dois sistemas tecnológicos ambientais no Brasil, um para recuperação de calor para gerar energia e o outro para redução do consumo de energia. O primeiro chama-se SIRESP, que apesar de um alto custo financeiro, apresentam alta eficiência. Esta tecnologia produz energia dentro dos frigoríficos e funciona a partir do aproveitamento de resíduos industriais, como o lodo, cascas, bagaços e *pallets*. Este tipo de tecnologia funciona como combustível para geração de energia térmica, frio e vapor. Uma estação de refrigeração de produção de frio, onde se faz o congelamento e climatização das câmaras, equivale 70% da conta de energia elétrica de um frigorífico (EEM, ECF).

Uma outra tecnologia, é o Sistema de Recalfrio que reduz de 30 a 50% a conta de energia, sobre o total do frigorífico, além de reduzir a emissão de CO₂ da indústria. Este sistema transforma em energia primária pelo processo de absorção do calor por troca térmica do próprio sistema (EEM). O quadro 4 apresenta os indicadores de redução de energia e CO₂ dos dois sistemas tecnológicos inovadores.

Quadro 4 – Indicadores de redução de energia

	Energia elétrica	Sistema Recalfrio Calor que refrigera	Sistema SIRESP Recuperação de energia
Geração de CO₂	47,9 Kg CO ₂ / t de carne	33,9 Kg CO ₂ / t de carne	19,6 Kg CO ₂ / t de carne
Consumo de energia	260,2 KWh / t de carne	142, 4 KWh/ t de carne	12 KWh/ t de carne

Fonte: EEM, 2018

Além do alto consumo de energia os frigoríficos têm um alto desperdício de energia. Somente de 30 a 35% é aproveitado de um total de distribuição de 100% nos frigoríficos. O calor gerado nos frigoríficos por meio das caldeiras, produz energia térmica, o que reduziria significativamente o consumo e o desperdício. Este aproveitamento de energia já é realizado em outros seguimentos industriais, mas não nas indústrias de frigoríficos bovino. Apesar da comprovação por meio de indicadores, em um universo de aproximadamente 1.000 (mil) frigoríficos no Brasil, apenas um projeto foi implantado em um frigorífico bovino (EEM).

4.2 Consumo de água na indústria de frigorífico

As principais fontes abastecedoras de água dos frigoríficos, são poços artesianos subterrâneos, superficiais ou rios, dependendo de onde são instaladas as plantas (EEA, EEM, EGA, ECF, ESA, EPA). Por exemplo, no Estado de Mato Grosso, uma indústria que abate 1.600 bois diários, há 6 (seis) poços subterrâneos para abastecimento com 500 metros de profundidade (ESA). Em razão do alto consumo de água ser maior do que a própria cidade em que as indústrias estão instaladas. Em média, o consumo de água é de 1.000 a 1.200 litros no abate do animal, muito acima dos suínos e aves, que utilizam uma média de 500 a 600 litros por porco e 18 litros por frango, abatidos, em todo processo industrial. Quando essa água é captada dos rios, devem seguir a legislação, especialmente a Lei nº 6338, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), e o Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, que regulamenta a lei e estabelece os padrões de qualidade ambiental, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento das atividades poluidoras. Após o tratamento é feita devolução às fontes de água, no entanto, grande parte dos frigoríficos não estão cumprindo a legislação por não ter uma fiscalização rigorosa, principalmente nos frigoríficos de bovinos (EEM, EEA, PEC).

A média do consumo de água é de 4.440 litros por animal dentro de todo processo industrial de um frigorífico. Um frigorífico que abate 1.000 bois por dia, utiliza uma média de 105 milhões de litros de água por mês (EEM). Além do alto consumo, o grande problema é que a água captada dos poços subterrâneos é água limpa, potável, própria para o consumo humano. Para que essa água possa ser reutilizada no consumo humano, precisa passar por tratamento rigorosos para reduzir toda matéria orgânica (EEM). A Tabela 5 apresenta o percentual médio do consumo de água por operações, nos frigoríficos brasileiros.

Tabela 5 - Porcentagem do consumo médio de água nos frigoríficos brasileiros

OPERAÇÃO	% DE CONSUMO
Recepção Saída dos currais	10 – 20
Abate Sangria Esfolia Corte da carcaça	15 – 25
Evisceração	35 – 50
Processamento das vísceras (cooprodutos)	15 – 20
Limpeza esterilização de equipamentos higienização das mãos/luvas	16 – 20
Corte da carcaça	2 – 3
Câmaras Frigoríficas Refrigeração	1 – 2
Outros	5 - 10

Fonte: EGA, 2018

A água também é utilizada no congelamento da carne. A legislação permite que 7% do peso da carne seja de água, que é incorporada na hora da congela, denominado de resfriamento de carcaça. Quando a carne vai para câmara, recebem jatos d'água para fechar os poros. Dos 4,5 milhões de litros diários utilizados nos processos industriais, em um frigorífico que abate 1.000 bois diários, 1 milhão de litros de água são evaporados e absorvidos pela carne. Dessa forma, de 15 a 20% desse volume de água não retorna para o tratamento (EEM).

Toda água utilizada nas operações precisa ser encaminhada para a Estação de Tratamento de Efluentes – ETE, o que representa 70% dos resíduos resultantes dos dejetos e do conteúdo estomacal dos animais como bucharia, triparia, lavador de caminhões e curral, que são encaminhados através de tanques. Os resíduos derivados do sangue são encaminhados para a ETE através de tubulações de PVC de alta resistência ou manilhas. Além da linha de sanitários e refeitórios, que é a água utilizada em uso doméstico (EGA, ESA).

4.3 Tratamento e reutilização da água residual das indústrias de processamento de carne bovina

A Legislação exige que todos os frigoríficos disponham de Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (EEA, EEM, EGA, ECF, ESA, EPA, PEC). Assim, toda água utilizada nos

processos industriais, desde o abate até a refrigeração, deve ser encaminhada para o devido tratamento. Nos frigoríficos brasileiros, o maior problema é que o tratamento não é tão eficiente. A maioria dos processos, continuam com uma alta carga de poluição orgânica de alta resistência, patógenos, partículas sólidas e um grande teor de gorduras, tornando-se um grande problema ambiental. Por falta de rigor dos órgãos responsáveis, não há uma cobrança dos padrões corretos, para uma melhor qualidade na água. Isso deveria ocorrer principalmente nas maiores indústrias (EEM). Exemplo disso, é que em alguns casos, a água encaminhada para a ETE fica na estação por muito tempo, pois não há uma preocupação por parte dos gestores e nem fiscalização para o devido tratamento (PEC).

Após o tratamento da água residual, o lodo gerado precisa ter uma destinação adequada. Pela grande quantidade, a indústria precisa pagar o transporte deste resíduo para que seja descartado corretamente em aterros industriais. Por ser uma atividade diária, isto implica em altos custos para as indústrias. O lodo pode ser utilizado na construção civil ou até mesmo como fertilizante. No entanto, há um alto grau de gordura que pode contaminar o solo, além de não ter terra suficiente para o tanto de lodo gerado diariamente. Como forma de aproveitamento e redução do consumo de energia, este lodo pode ser utilizado como combustível para gerar energia, através de tecnologias inovadoras já existentes em indústrias do segmento no Brasil. Este procedimento diminuiria significativamente os custos financeiros para os frigoríficos e principalmente os problemas relacionados ao meio ambiente (EEA).

Algumas indústrias, na tentativa de reaproveitar o lodo, aplicam dentro das caldeiras, o que traz sérios problemas devido ao alto grau de corrosão e a grande quantidade de poluentes químicos. O lodo precisa ser tratado e não apenas jogado nas caldeiras, o que vem acontecendo na maioria dos frigoríficos. Já existem tecnologias que fazem a separação sólida, da água com a gordura, com floculadores, que normalmente são a base de ferro e óxido, um tratamento adequado para que não tenha problema para saúde humana e o meio ambiente (EEM).

As tecnologias de tratamento de efluentes de um frigorífico, tanto no Brasil como em muitos países, ainda são bastantes tradicionais, sem tanta eficiência. As plantas de frigoríficos são projetadas para determinados metros cúbicos de água e, com o passar do tempo, são ampliadas. No entanto as ETE's permanecem com o mesmo tamanho, perdendo a eficiência e aumentando o total de produtos químicos na intenção de remover mais poluentes (EEM).

No tratamento de água residual dos frigoríficos, os principais métodos de tratamento no Brasil são os métodos físico-químico e o biológico. Destes, o método biológico é considerado o mais eficiente em termos ambientais, pois não gera passivos ambientais como os produtos químicos. Além disso, para que a água seja devolvida aos cursos d'água, o nível de carga química poluente e corrosiva é mínima. No entanto, a maioria dos frigoríficos utilizam o tratamento físico-químico, que pode ser realizado em espaço menor, se comparado com o tratamento biológico (EGA). No tratamento biológico são necessárias no mínimo três lagoas para receber a água residual e realizar o tratamento anaeróbico e aeróbico. O tratamento é realizado de 25 a 30 dias, com retenção da água residual em cada lagoa e com padrões técnicos definidos, o que o torna os custos mais altos (EEA).

Mesmo tendo uma ETE, na maioria dos frigoríficos no Brasil são encontrados urubus ao redor, em razão da grande quantidade de resíduos gerados pelos frigoríficos. Um dos principais problemas é que a maioria dos frigoríficos não tem incineradores próprios, o que leva muitos a não fazerem o tratamento apropriado do resíduo. Os padrões de tratamento são parecidos, fazem o básico, de forma que apenas cumpram a Legislação (EEM). A implantação de tecnologias inovadoras em alguns frigoríficos está ocorrendo de forma paulatina, devido aos altos custos (EGA).

Após o tratamento da água residual, em algumas indústrias frigoríficas no Brasil a média de remoção de Demanda Química de Oxigênio (COD) é de 98%, Demanda Química de

Biológica (BOD) é de 98%, Nitrogênio (N) é de 80%, Fósforo (P) é de 80% (EGA). Em outros frigoríficos, é apresentado o valor total, com uma média de 87% do total de eficiência depois de tratada, com o tratamento físico-químico, por meio do sistema DAF (ESA). Para qualquer outro tipo de carga orgânica, todos os frigoríficos devem cumprir os padrões que a Legislação exige (EEM), a maioria dos frigoríficos não fazem além disso. Após o tratamento da água residual, o percentual reutilizado no processo produtivo ou lançado nos cursos d'água depende muito de cada frigorífico (EEA). Em algumas indústrias, a média de reutilização nos processos é entre 20 a 30% e de até 65% lançado no corpo hídrico (EGA). Essa água não pode entrar em contato com o produto. Com exceção os abatedouros clandestinos, que não utilizam nenhum tipo de tratamento e descartam os resíduos fora do padrão previsto pela legislação, ocasionando sérios problemas ao meio ambiente e saúde humana (EEA, PEC). No Amazonas, por exemplo, a maioria dos frigoríficos ainda são clandestinos (PEC).

Verificou-se que, por questões de regularização as indústrias fazem o tratamento da água residual. Isso torna possível o tratamento de até 85% do total de água captada, sendo de aproximadamente 20 a 30% do total da água tratada para limpeza das instalações e reuso na irrigação dos pastos, e uma média de até 65% devolvida aos cursos d'água. Vale ressaltar que mesmo que passe por um tratamento, ainda é devolvida com uma alta carga poluidora, não sendo apropriada para consumo humano.

A indústria de carne bovina, em comparação a outros segmentos, desperdiça muita água e energia dentro dos frigoríficos. Não há preocupação de tornar a indústria mais sustentável ou desenvolver seus processos pensando no meio ambiente (EEM, ECF, PEC). Outro problema é a geração de efluentes (ECF, EGA) que precisaria de um circuito fechado para reuso da água, como forma de evitar o desperdício (EGA). A aquisição de tecnologias inovadoras que reduzam o consumo, ajudaria os frigoríficos a se assemelharem com as indústrias de frangos e suínos, que já estão bem avançadas (EEM, ECF).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O pressuposto desta pesquisa foi que as tecnologias limpas aplicadas na indústria de carne bovina, pode desenvolver novos processos industriais, ocasionando assim menos impactos ao meio ambiente.

As plantas industriais dos frigoríficos pesquisados atendem a demanda de 500 a 1.600 bois abatidos diariamente, estes números mostram que as indústrias pesquisadas e os entrevistados atuam em indústria de médio e grande porte. Um dado que se destaca neste estudo é a redução de 30 a 50% do consumo energia em frigoríficos a partir da tecnologia de Recalfrío, redução comprovada pelos especialistas entrevistados. No entanto, foi enfatizado pelos entrevistados, que no universo de 1.000 frigoríficos, apenas um está iniciando o processo de aquisição de equipamentos e tecnologias que reduzem o consumo de energia. Esses dados mostram que algumas barreiras precisam de ser revistas, principalmente a tecnológica, pois elas dinamizam o processo de concorrência das indústrias, tanto internamente como externamente (KAWABATA et al, 2006).

O alto consumo de água é um dos principais entraves da indústria de processamento de carne. Os dados coletados comprovam que dentre as indústrias do setor de alimentos, o maior consumo de água utilizada na produção, estão associados à carne bovina, sendo considerada de alto impacto ambiental em comparação com outros tipos de carne, como a indústria de suínos e aves e outras atividades agroindustrial (ESHEL et al., 2014; RÖÖS et al., 2013).

No Brasil, em sua maioria, os frigoríficos realizam o tratamento físico-químico, por meio do sistema Flotação por Ar Dissolvido – DAF, por ser o mais viável financeiramente. Este tratamento, não é o mais adequado em relação ao meio ambiente (BUSTILLO-LECOMPTE et al., 2014; MITTAL, 2006), pois quando a água é devolvida aos rios, a permanência da carga poluidora de reagentes químicos ainda é muito grande (KIEPPER,

2001). O Quadro 6 mostra o percentual da literatura e os dados coletados durante a pesquisa, de redução de poluentes químicos após o tratamento da água residual.

Quadro 6 – Percentual da redução de demanda química após o tratamento de água residual

Poluentes / Demanda Química	% médio na literatura	% médio dos frigoríficos pesquisados
Demanda Química de Oxigênio – COD	Entre 32 a 90%	98%
Demanda Biológica de Oxigênio – BOD	-	98%
Fósforo Total	99,9%	80%
Nitrogênio Total	88,8%	80%
Outros poluentes	40 a 70%	87%

Fonte: Autora

Nota: Dados da pesquisa comparados com Johns, 1995; Bustillo-Lecompte et al., 2014; Mittal, 2006.

No processo de recepção, condução e lavagem dos animais, assim como no atordoamento, os animais são lavados com jatos de água para que seja eliminado o esterco e outras sujeiras, confirmando assim os mesmos procedimentos visto na literatura (BRASIL; MAPA, 2018; TERLOUW, 2005; LAWRIE, 2005; MOGENSEN et al., 2016). Foi evidenciado que a água residual, originada nestas etapas de processamento, dos frigoríficos pesquisados, é encaminhada para uma ETE, pois de acordo com a Legislação, através do Decreto Nº 30.691 – (BRASIL; RIISPOA, 2017) todas as indústrias de origem animal devem possuir estas estações. “Toda indústria deve dispor de rede de abastecimento de água para atender suficientemente as necessidades do trabalho industrial e às dependências sanitárias, e quando for o caso, de instalações de tratamento de água” (BRASIL; RIISPOA, 2017, p. 1). Após o tratamento, um fator de muita importância para mitigar impactos ambientais dentro dos processos de frigoríficos, é a devolução da água para os corpos hídricos e sua reutilização dentro de alguns processos.

Apesar de haver uma legislação que regularize as indústrias de carne bovina no Brasil, o número de frigoríficos clandestinos ainda é muito alto, estimando em até 40% do setor (MATHIAS, 2018). Por esse motivo, os frigoríficos clandestinos não realizam nenhum tipo de tratamento e ainda descartam a água residual, assim como dos subprodutos e os resíduos de forma irregular, ocasionando sérios problemas para a saúde humana e agressão ao meio ambiente. Esse fato é agravado pela falta de fiscalização rigorosa de órgãos governamentais competentes nos estabelecimentos em funcionamento ilegal. Somado a isso, um outro entrave apresentado pelos entrevistados são os altos custos para aquisição de tecnologias inovadoras no Brasil, que leva a má qualidade da água devolvida aos rios. Esses dados corroboram os estudos que afirmam que os custos ambientais ainda são muito caros e incentivos econômicos limitados do Governo. Um outro entrave atrelado ao anterior é a falta de interesse dos gestores na aquisição dessas tecnologias, a prioridade dos gestores ainda é o lucro financeiro e não as questões voltadas ao meio ambiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve o objetivo de analisar os entraves tecnológicos na implementação de tecnologias limpas no processo de produção de carne bovina. Para atingir este objetivo foi realizado um levantamento para identificar os impactos ambientais significativos ocasionados nos processos da indústria de carne bovina; assim como as inovações tecnológicas existentes que reduzem os impactos ambientais na indústria de processamento de carne bovina.

Diante disto, os principais impactos significativos ocasionados pela indústria de processamento de carne bovina é o alto consumo de água e energia. No entanto, a pesquisa foi além e evidenciou que a água captada para a utilização nos processos industriais, é integralmente potável. Mas, quando realizado o tratamento da água residual, esta água retorna com uma alta carga poluidora, o que impossibilita o consumo humano. Os frigoríficos clandestinos descartam nos rios e solos, os subprodutos não comestíveis e o sangue, provocando alto impacto ao meio ambiente. O alto consumo de energia é um dos principais

impactos ocasionados pela indústria de processamento de carne bovina e não há utilização de energias alternativas.

Quanto às inovações tecnológicas, em sua maioria, as indústrias de processamento de carne bovina utilizam a tecnologia do tratamento físico-químico, através do método de Flotação por Ar Dissolvido – DAF, no tratamento da água residual. O tratamento por meio do sistema DAF, é considerado um dos tratamentos com menor eficácia em comparação a outros tipos de tecnologias, pois após o seu tratamento, ainda permanece uma alta carga poluidora. Como visto, o tratamento biológico é mais indicado quando se trata de questões ambientais, pois há uma maior redução da carga orgânica e não há utilização de produtos químicos e, consequentemente, menor impacto ao meio ambiente. Para as indústrias, a justificativa de utilizarem esse tipo de tecnologia, se dá pelo menor custo financeiro. Muito embora, sabe-se que por Lei, toda indústria deve dispor de Estação de Tratamento de Efluentes, para realizar o devido tratamento, antes de descartar os resíduos nos rios ou solo.

O principal entrave da indústria de processamento de carne é a ausência da utilização de energia alternativa, a indústria não faz uso de tecnologias inovadoras para diminuir o consumo de energia, visto que é um dos principais impactos ambientais no setor. Se as indústrias utilizassem as tecnologias disponíveis no mercado reduziria de 30 a 50%, do consumo. Esses entraves devem-se aos altos custos das tecnologias inovadoras, a falta de incentivos fiscais do governo para aquisição das tecnologias, somado a isto os altos custos dos tributos fiscais. As políticas públicas e tributárias, por parte do Governo, seria uma ‘motivação’ para mudança desse cenário na indústria, cuja permanência do uso de tecnologias tradicionais e ultrapassadas, causam um alto consumo de água e mais energia, e um tratamento de água residual ineficiente. A falta de aterros industriais e incineradoras nos frigoríficos pesquisados, é um outro entrave no uso de tecnologias. Animais condenados e restos de resíduos ficam expostos, esperando a coleta por uma indústria responsável. Isso ocorre, porque não há uma fiscalização rigorosa por parte dos órgãos responsáveis, o que seria um forte aliado a minimização das perdas e exclusão das externalidades negativas. Uma outra barreira, que reflete diretamente nos impactos gerados pela indústria de processamento de carne é a falta de rigor nas fiscalizações por questões ambientais por parte dos órgãos competentes. Sabe-se que com as Leis, há um melhor controle e acompanhamento dos impactos causadores ao meio ambiente, por isso, a fiscalização é de extrema importância, pois a falta dela pode causar danos ao meio ambiente, e muitos destes danos são mantendo as indústrias de processamento de carne no modelo linear de produção.

Os resultados da pesquisa apontam que ainda há diversos entraves que impedem o uso de tecnologias ambientais na indústria de processamento de carne bovina. Muito embora, sejam vistas oportunidades promissoras para instalação de tecnologias limpas nos frigoríficos por meio de novos processos industriais e tecnologias ambientais. Diante disto, é possível afirmar que há um campo de investigação de novas tecnologias ambientais para a indústria de processamento de carne bovina.

REFERÊNCIAS

ABRAFRIGO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FRIGORÍFICOS. **Exportações**. 2021.

Disponível em: <http://www.abrafrigo.com.br/index.php/estatisticas/> Acesso em: 13 de jul de 2021.

BELLAVER, C.; ZANOTTO, D. **Parâmetros de qualidade em gorduras e subprodutos proteicos de origem animal**. 2004. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/parametros_qualidade_gorduras_e_subprodutos_proteicos_de_origem_animal_000fyrf0t6n02wx5ok0pvo4k33hlhtkv.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2018.

BERGER, J. **Ways of seeing**. 1. ed. Londres: Penguin Books, 1990.

BOHDZIEWICZ, J.; SROKA, E. Treatment of wastewater from the meat industry applying integrated membrane systems. **Process Biochem.**, Reino Unido, n. 40, p. 1339–1346, 2005.

BRASIL; MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTEC. Instrução normativa n. 56, de 06 de nov. de 2008. Estabelece os procedimentos gerais de recomendações de boas práticas de bem-estar para animais de produção e de interesse econômico – REBEM. **Diár. Ofic. da Un.**, Brasília, Seq. 1, p. 5, 07 nov. 2008.

_____; _____. **Instrução normativa conjunta nº 56, de 6 de novembro de 2008.** Lei nº 5.197. Procedimentos gerais de recomendações de Boas Práticas de Bem-Estar para Animais de Produção e de Interesse Econômico – REBEM. Brasília, DF, 2018.

_____; RIISPOA. **Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal.** Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/diariooficial-publica-decreto-do-novo-regulamento-de-inspecao-industrial-e-sanitaria>>. Acesso em: 12 out. 2017.

BUGALLO, P. M. A. et al. Analysis of the slaughterhouses in Galicia (NW Spain). **Science of the Total Environ.**, Amsterdã, n. 481, p. 656–661, 2014.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. **J. Environ. Sci. Heal**, Philadelphia, v. 48, n. 9, p. 1122-1135, 2013.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. Effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes. **Jour. of Environ. Manag.**, London, v. 134, p. 145-152, 2014.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. **Jour. of Environ. Manag.**, London, v. 161, p. 287- 302, 2015.

CAO, W.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H₂O₂ processes. **Chem Eng Res Des**, n. 89, p. 1136–1143, 2011.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína).** 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/frigorifico.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.

CHEGE, S.M; WANG, D. The influence of technology innovation on SME performance through environmental sustainability practices in Kenya. **Techn. in Soc.**, v. 60, p. 101210, 2020.

CHINDE, S. et al. Assessment of genotoxic effects of lead in occupationally exposed workers. **Envir. Sci Pollut Res**, Bordéus, n. 21, p. 11469 – 11480, 2014.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M. **Efluentes líquidos.** Brasília, DF: Senai/DN, 2003. 310 p. (SENAI. Tecnologias e Gestão Ambiental).

CNA - CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Pecuária de corte: potencial para crescer.** 2017. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/noticias/pecuaria-de-corte-potencial-para-crescer>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto.** Porto Alegre: Artmed, 2010.

DJEKIC, I. Environmental impact of meat industry: current status and future perspectives. **Proc. Food Scien.**, v. 5, p. 61-104, 2015.

DJEKIC, I et al. Assessment of environmental practices in Serbian meat companies. **J. of Cleaner Prod.**, Oxford, n. 112, p. 2495-2504, 2016.

DJEKIC, I et al. Environmental life-cycle assessment in production of pork products. **Meso**, Zegrebe, v. 17, n. 5, p. 345-351, 2015.

DJEKIC, I; TOMASEVIC, I. Environmental impacts of the meat chain: current status and future perspectives. **Trends in Food Sci. & Techn.**, Londres, v. 54, n. 94, p. 102, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Avaliação qualitativa e quantitativa da carcaça de bovino**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/44541/avaliacao-qualitativa-e-quantitativa-da-carcaca-de-bovino>>. Acesso em: 21 jul. 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **O agro no Brasil e no Mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/62618376/O+AGRO+NO+BRASIL+E+NO+MUNDO.pdf/41e20155-5cd9-f4ad-7119-945e147396cb>. Acesso em 08 de jul. de 2021.

ESHEL, G. et al. Land irrigationwater, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat eggs, and dairy production in the United States. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, Washigton, v. 111, p. 11996-12001, 2014.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **World land and water prospects**. Rome: Land and Water Development Division, 2013.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.. Agro Mundial. 2021. Disponível em: <https://http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 08 de jul. de 2021.

FRITZSON, A.; BERNTSSON, T. Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry - opportunities for improvements in future energy markets. **Jour. of Food Engin.**, Davis, v. 77, p. 792–802, 2006.

GOLEMAN, D. **Ecological intelligence**. New York: Broadway Books, 2009.

GREGORY, N. G. Recent concerns about stunning and slaughter. **Meat Science**, Savoy, v. 70, n. 3, p. 481-491, july 2005.

IPPC - EUROPEAN COMMISSION INTERNATIONAL PLANT PROTECTION. **Convention integrated pollution prevention and control, reference document on best available techniques in the food: drink and milk industries**. Spain: European Commission, Seville, 2006.

JAYATHILAKAN, K. et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. **Trends in Food Scien. & Techn.**, Londres, n. 49, p. 278-293, 2012.

JOHNS, M. R. Developments in wastewater treatment in the meatprocessing industry: a review. **Biores. Technol**, Oxford, n. 54, p. 203–216, 1995.

KAWABATA, Z. et al. A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, Cambridge, n. 81, v. 2, p. 163-182. 2006.

KIEPPER, B. A survey of wastewater treatment practices in the broiler industry. **Water Environ. Res**, Alexandria, n. 12, p. 12–25, 2001.

KUPUSOVIC, T. et al. Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry e case study in Bosnia and Herzegovina. **J. of Cleaner Prod.**, Oxford, n. 15, p. 378–383, 2007.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LOPEZ-RIDAURA, S. et al. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. **J. of Env. Manag.**, London, v. 90, n. 2, p. 296-304, 2009.

MANIOS, T. et al. Closed wastewater cycle in a meat producing and processing industry. **Resour., Conserv. and Recyc.**, Colorado, n. 38, p. 335-345, 2003.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L. Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. **Jour. of Agric. Engin. Res.**, London, v. 3, n. 42, p. 139-146, 2000.

MATHIAS, A. **A clandestinidade na produção de carne bovina no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/download>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

MOGENSEN, L. et al. Productivity and greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. **Livest. Science**, Amsterdam v. 174, p. 126-143, 2015.

_____. et al. Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output. **J. of Cleaner Produc.**, Oxford, v. 133, p. 284–293, 2016.

MOUKAZIS, I. et al. Slaughterhouse by-products treatment using anaerobic digestion. **Waste Manag.**, London, n.7, p. 652–662, 2018.

NGUYEN, T. L. T.; HERMANSEN, J. E.; MOGENSEN, L. Environmental consequences of different beef production systems in the EU. **J. of Cleaner Prod.**, Oxford, n. 18, p. 756-766, 2010.

NORTON, T.; SUN, D. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. **Food and Biop. Techn.**, v. 1, n. 1, p. 2-34, 2008.

OECD; EUROSTAT. **Oslo manual**: guidelines for collecting and interpreting innovation data. 3th ed. Paris: OECD Publishing, 2005.

PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador, n. 149, p. 4-11, out. 2006.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2008.

PONTOPPIDAN, O. et al. Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output. **J. of Cleaner Prod.**, Oxford, n. 133, p. 284-293, 2016.

RAMIREZ, C.; PATEL, M.; BLOK, K. How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries. **Energy**, Cleveland, n. 31, p. 2047–2063, 2006.

RÖÖS, E. et al. Can carbono footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? **Ecolog. Indic.**, Amsterdam, n. 24, p. 573–581, 2013.

SRIVASTAVA, Samir K. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. **Intern. Jour. of Manag. Reviews**, Oxford, v. 9, n. 1, p. 53–80, 2007.

SROKA, E. et al. Biological treatment of meat industry wastewater. **Desalination**, Amsterdã, n. 162, p. 85–91, 2004.

TERLOUW, C. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience a brief review of recent findings. **Livest. Produc. Science**, Amsterdã, n. 94, p. 125–135, 2005.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. A model of the meat waste management. **J. of Chem. Tech.**, Washington, v. 9, n. 4, p. 1-97, 2000.

_____. **Eco-efficiency manual for meat processing**. 2002. Disponível em: <<https://www.ampc.com.au/2016/11/Red-Meat-Processing-Industry-Energy-Efficiency-Manual>>. Acesso em: 05 out. 2018.

WAKEFORD, J. J. et al. Innovation for green industrialisation: An empirical assessment of innovation in Ethiopia's cement, leather and textile sectors. **J. of Cleaner Produc**, Oxford, v. 166, p. 503-511, mar. 2017.

WOJDALSKI, J. et al. Assessment of energy consumption in a meat-processing plant: a case study. **Food and Bioproc. Techn.**, n. 6, p. 2621-2629, 2013.

WU, Z.; PAGELL, M. Balancing priorities: decision-making in sustainable supply chain management. **J. of Oper. T. Manag.**, Amsterdã, v. 6, n. 29, p. 577-590, 2011.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHU, Q. et al. Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group. **J. of Cleaner Produc.**, Oxford, v. 12, p. 1025-1035, 2009.