

CARTILHA PARA INDÚSTRIA

PROCESSAMENTO DE CARNES

GESTÃO CORRETA DE

EFLUENTES NO SETOR

DO AGRONEGÓCIO



Título & Referência	Cartilha da Indústria - Processamento de Carnes Versão final	
Cliente	BID Invest 1350 New York Ave NW, Washington, DC 20005, Estados Unidos da América	http://www.idbinvest.org
Preparado por	Mauricio Morera, Especialista em efluentes..... Mónica Salas, Especialista em efluentes.....	ma.morera@gmail.com msalas@auroraingenieria.com
Revisado por	Natalia Benavides, Consultora Sênior, Futuris..... Emma Tristán, Diretora Geral, Futuris.....	natalia@futurisconsulting.com emma@futurisconsulting.com
Contato Futuris	Futuris Consultoria S.A Tres Ríos, Cartago, Costa Rica.....	@ http://www.futurisconsulting.com +506 2279-3501

Copyright © [2024] Corporação Interamericana de Investimentos ("BID Invest"). Esta obra está sujeita à licença Creative Commons CC BY 3.0 IGO. Os termos e condições indicados no link da URL devem ser cumpridos, e o devido reconhecimento deve ser concedido ao BID Invest.

De acordo com a seção 8 da licença mencionada, qualquer mediação relacionada a disputas decorrentes dessa licença será conduzida de acordo com as Regras de Mediação da OMPI, vigentes no momento da disputa. Qualquer disputa relacionada ao uso das obras do BID Invest que não possa ser resolvida amigavelmente será submetida à arbitragem, de acordo com as regras da Comissão das Nações Unidas para o Direito Comercial Internacional (CNUDMI), vigentes no momento da disputa. O uso do nome do BID Invest para qualquer finalidade diferente do devido reconhecimento, bem como o uso do logotipo do BID Invest, estará sujeito a um acordo de licença escrito separado entre o BID Invest e o usuário, não estando autorizado como parte desta licença.

Note que o link da URL inclui termos e condições que são parte integrante desta licença.

DISCLAIMER

Este relatório foi elaborado pela Futuris Consulting SA com toda a proficiência, cuidado e diligência razoáveis nos termos do Contrato com o cliente, incorporando as nossas Estipulações e Condições Gerais de Trabalho, tendo em conta os recursos que lhe são dedicados conforme acordado com o cliente. Nós nos isentamos de qualquer responsabilidade para com o cliente ou terceiro com relação a quaisquer assuntos fora do escopo do pedido, conforme definido no Contrato com o cliente. Este relatório é confidencial para o cliente e terceiros especificamente indicados pelo contrato escrito entre Futuris Consulting SA e o cliente.

Não aceitamos qualquer responsabilidade de qualquer natureza para com qualquer terceiro que seja notificado com este relatório, ou partes dele. Fica a critério exclusivo de tais terceiros acatar e confiar ou não no relatório.

Sumário

1 **Introdução**

1.1 Este Guia do Setor e a Nota de Boas Práticas.....5

1.2 Fontes de informação5

2 **Características do setor e Produção de efluentes**

2.1 Visão geral do setor.....6

2.2 Uso da água no processo industrial.....7

2.3 Revisão geral da produção de águas residuais.....10

2.4 Descrição da Qualidade das Águas Residuais Brutas.....10

3 **Melhores Práticas de Gestão de Efluentes**

3.1 Prevenção da poluição BWMP.....12

3.2 Tratamento de efluentes BWMP.....14

3.3 Exemplo de tratamento de águas residuais BWMP.....16

3.4 Indicadores-chave de desempenho e monitoramento.....16

4 **Referências**

Acrônimos

ALC	América Latina e Caribe
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BWMP	Melhores Práticas de Gestão de Efluentes
CIP	Limpeza no Local
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EC	Eletrocoagulação
EHS	Meio Ambiente, Saúde e Segurança
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FOG	Gorduras, Óleos e Graxas
GBP	Guia de Nota de Boas Práticas
ISO	Organização Internacional de Normalização
LWK	Tonelada de Peso Vivo Equivalente
OMS	Organização Mundial da Saúde
NMP	Número mais Provável
SBR	Reatores em Batelada de Sequenciamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	Manta de lodo Anaeróbio de Fluxo Ascendente
WBG	Grupo Banco Mundial

7 Introdução



1.1 ESTA CARTILHA DO SETOR E O GUIA DE BOAS PRÁTICAS

Esta cartilha do setor foi desenvolvida com o propósito de complementar o Guia de Boas Práticas (GBP) de Gestão de Efluentes no âmbito do Agronegócio. Nas seções a seguir, é feita referência ao GBP para evitar repetição, sempre que as informações contidas nesse documento complementarem o que é apresentado nesta cartilha da indústria.

Neste guia, é oferecida uma visão compreensiva das melhores práticas de gestão de águas residuais (BWMP, na sigla em inglês) visando a mitigação dos impactos ambientais do processamento de carnes. Isso auxilia empresas na América Latina e no Caribe (ALC) a reduzir seu impacto no meio ambiente, a cumprir regulamentações pertinentes, a promover práticas sustentáveis que protegem a saúde pública e a diminuir custos operacionais. A seção 2 descreve as características do setor, enquanto a seção 3 aborda o BWMP, incluindo a prevenção da poluição (seção 3.1) e o tratamento de águas residuais (seção 3.2).

As informações sobre os indicadores-chave de desempenho (KPIs) estão relacionadas aos regulamentos específicos de cada país, e podem ser encontradas na Seção 2 e no Anexo I do GBP. Caso deseje obter mais informações sobre exemplos de prevenção da poluição, consulte a Seção 4 do GBP, e para informações relacionadas ao tratamento de águas residuais, consulte a

Seção 5 do GBP. Para detalhes mais específicos sobre o monitoramento, acesse a Seção 6 do GBP.

1.2 FONTES DE INFORMAÇÃO

Esta cartilha sobre o tratamento de resíduos do processamento de carnes foi elaborada com base em diversas fontes de informação. Como ponto de partida, foi adotado o Manual de Prevenção e Redução da Poluição do Banco Mundial de 1998, que serve como estrutura subjacente para as diretrizes mais específicas da indústria reconhecidas como “Diretrizes Ambientais, de Saúde e Segurança para o Processamento de Carnes”, publicadas pelo Grupo Banco Mundial em 2007. A lista completa de referências está disponível na Seção 4. Além disso, foram incorporadas informações obtidas em entrevistas com clientes do BID Invest.

2

Características do Setor e Produção de Efluentes



2.1 VISÃO GERAL DO SETOR

As atividades envolvidas no abate e processamento de carne e aves envolvem diversas etapas, desde a chegada dos animais até a preparação das carcaças para venda ou processamento subsequente. Nessas instalações, como matadouros, o consumo de água limpa é considerável, sendo amplamente utilizada em várias fases do processamento, como a contenção dos animais, o abate, o escaldamento, o depenamento, a evisceração, a desossa e as atividades de limpeza relacionadas à carne e à higiene das instalações. Como resultado, essas operações geram volumes significativos de águas residuais que apresentam desafios ambientais significativos. Essas águas residuais contêm uma concentração considerável de partículas sólidas em suspensão e matéria orgânica, resultando em odores desagradáveis. A composição das águas residuais se torna ainda mais complexa devido à presença de detergentes e desinfetantes usados para a higienização e a limpeza. Dada a natureza desses efluentes, é necessário implementar processos de tratamento para garantir a sua descarga segura no ambiente.

Apesar de representar apenas 13,5% da população mundial, a região da América Latina e Caribe (ALC) desempenha um papel significativo na produção global de carne. Uma análise da distribuição da produção de carne na ALC revela que a carne de aves é a mais produzida, contribuindo com quase metade da produção total. A carne bovina representa 35% da produção, enquanto a carne suína fica

em terceiro lugar, com uma parcela de 16%. Somadas, essas três categorias compõem mais de 99% da produção total de carne na região. O Brasil se destaca como o principal produtor de carne na ALC, sendo responsável por mais da metade da produção total da região. Ele lidera a produção de carne bovina, com 19 milhões de toneladas, além de ser o maior produtor de carne suína, com 4,5 milhões de toneladas, e de carne de aves, com quase 13,8 milhões de toneladas. O México ocupa a segunda posição, contribuindo com 13% da produção de carne suína e de aves na região. Por outro lado, a Argentina reivindica o título de segundo maior produtor de carne bovina na região, respondendo por 11% da produção total².

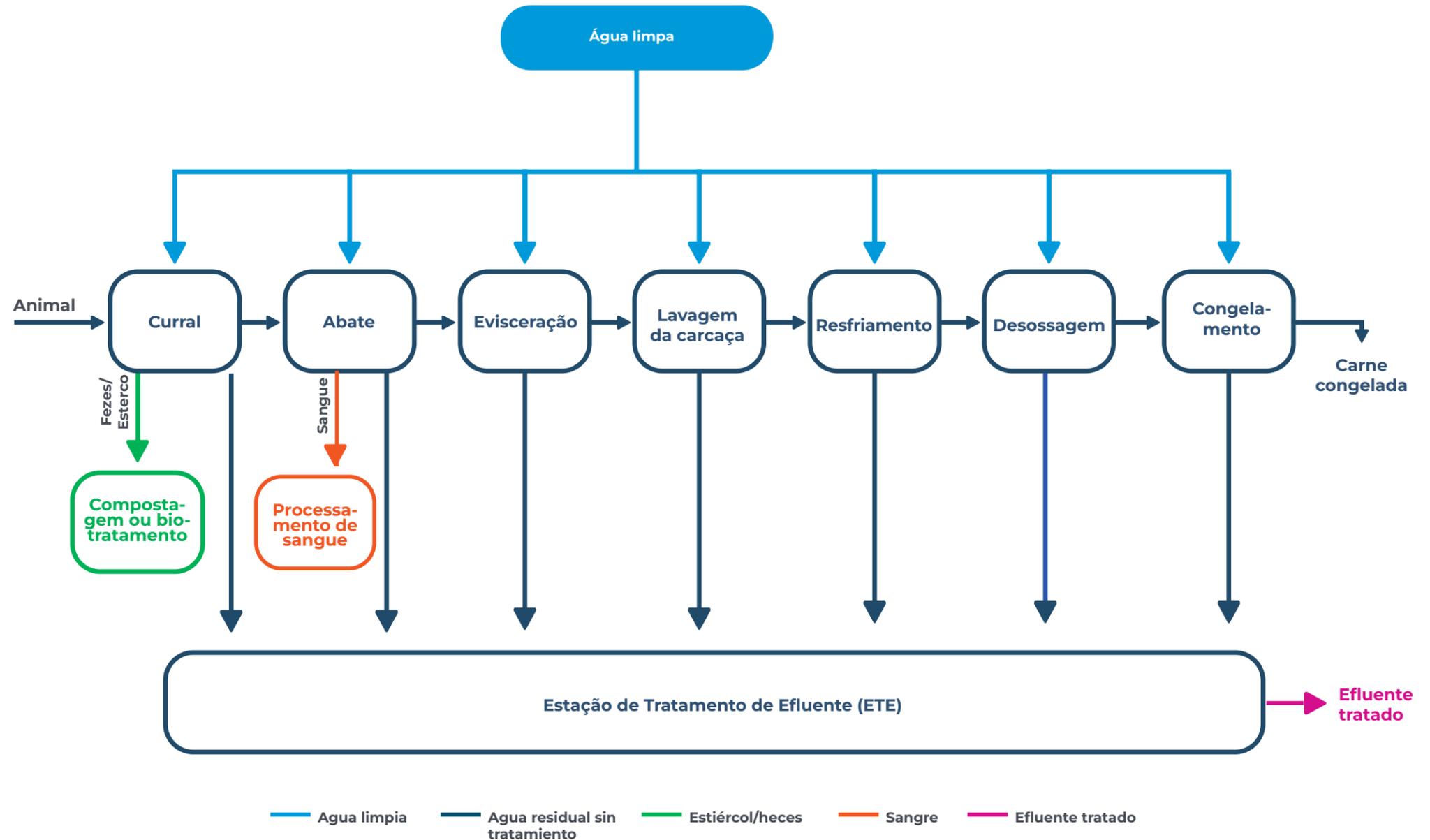
2.2 USO DA ÁGUA NO PROCESSO INDUSTRIAL

A indústria de processamento de carnes utiliza, direta e indiretamente, pelo menos 29% do total de água doce empregada pelo setor agrícola. O consumo de água em matadouros e frigoríficos está diretamente ligado à quantidade e ao tipo de animais abatidos. Para produzir uma tonelada de carne bovina, são necessários 15,500 m³ de água doce, enquanto a carne suína requer 4,800 m³ e a carne de aves demanda 4,000 m³^{3,4}.

A indústria de processamento de carne utiliza água para diversas finalidades, como

higienização, processamento da carne e suas partes, além de operações com equipamentos (como lavagem de equipamentos, geração de vapor, aquecimento de água, refrigeração com compressores e produção de água gelada). O principal uso da água nas instalações de processamento de carne é a lavagem das carcaças após a remoção da pele de bovinos e bezerros, a depenação de aves ou a remoção de pelos de suínos após a evisceração. Além disso, a água é empregada na limpeza e desinfecção de equipamentos e instalações, resfriamento de equipamentos mecânicos como compressores e bombas, esterilização de equipamentos e higienização das áreas de trabalho⁵. Um esquema ilustrativo do uso da água em uma indústria de processamento de carne é apresentado na Figura 1.

FIGURA 1 Fluxograma de consumo de água em uma planta de processamento de carne em geral



Fonte: Elaboração própria

2.3 REVISÃO GERAL DA PRODUÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.3.1 POLUENTES PRIMÁRIOS E SUAS FONTES

O volume de efluentes gerados durante o processo de abate varia conforme o tipo de animal que está sendo processado. No caso do gado, esse volume varia aproximadamente de 1,6 a 9 m³ por tonelada de carne produzida¹. Quando se trata do processamento de aves, são gerados entre 5 e 15 m³ de águas residuais por tonelada de carcaça de aves, enquanto o processamento de suínos resulta em uma faixa de 1,6 a 6 m³ por tonelada de carcaça de suíno⁶.

Em geral, as águas residuais provenientes das instalações de processamento de carne contêm diversos poluentes. No entanto, é importante observar que a composição das águas residuais brutas nessas instalações é grandemente influenciada pelo tipo de animal que está sendo abatido. Os poluentes comuns incluem sangue, conteúdo do trato digestivo (como estômago e intestino), fezes, urina, sobras de carne, penas, gordura, desinfetantes, alimentos não digeridos, patógenos microbianos, produtos farmacêuticos, carne desprendida e resíduos da limpeza das instalações⁵. Isso resulta em uma composição complexa da água bruta, contendo gorduras, proteínas, fibras, bactérias fecais e potencialmente bactérias patogênicas.

A qualidade das águas residuais é fortemente influenciada pelo processo de transformação nas unidades de processamento de carne. A etapa de renderização, por exemplo, contribui com cerca de 60% da carga orgânica total de uma planta.

A eficiência na coleta de sangue desempenha um papel importante na determinação da concentração de demanda biológica de oxigênio (DBO) nas águas residuais. Além disso, a forma como os resíduos sólidos, como urina e fezes, são tratados, desempenha um papel crucial na determinação da DBO das águas residuais do processamento de carne⁷, especialmente quando se trata das áreas de destino dessas águas.

Como resultado do abate e processamento da carne, as águas residuais contêm uma alta quantidade de matéria orgânica, que se reflete em concentrações elevadas de DBO e DQO. Além disso, essas águas residuais contêm gorduras, óleos e graxas, SST, nutrientes como TN e TP, patógenos, especialmente E. coli e Salmonella, e às vezes antibióticos e metais pesados como cobre, cromo, molibdênio, níquel, titânio, zinco e vanádio⁵. A presença de detergentes e desinfetantes, usados para fins de higienização e limpeza, adiciona complexidade à composição das águas residuais brutas.

2.3.2 PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS

O lançamento não tratado de efluentes provenientes do processamento de carnes tem um impacto significativo no meio ambiente. Quando essas águas residuais não tratadas são liberadas em corpos d'água, podem ter sérias consequências para a qualidade da água, diminuindo os níveis de OD e transformando as fontes de água em potenciais ameaças à saúde pública devido à alta presença de bactérias. Além disso, o descarte de macronutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode levar à eutrofização, estimulando o crescimento excessivo de algas, o que, por sua vez, prejudica a vida aquática devido à depleção do OD causada pela decomposição das algas. Além disso, a presença de compostos como cromo e amônia nas águas residuais dos matadouros pode ser prejudicial para a vida aquática³.

A indústria de processamento de carne também contribui para a contaminação devido à incorporação de surfactantes durante as atividades de limpeza.

Esses surfactantes são os principais ingredientes dos detergentes e podem ser introduzidos nos ambientes aquáticos se o tratamento de águas residuais não for adequado. Isso pode causar impactos imediatos e de longo prazo no ecossistema, afetando tanto seres humanos quanto a vida aquática e a vegetação³.

Além da poluição causada por surfactantes, nitrato e ânions clorídricos, as águas residuais do processamento de carne também podem conter patógenos que persistem no solo e continuam a se espalhar. Esses patógenos representam um potencial risco para a saúde humana se forem transmitidos por meio da exposição a corpos d'água. Como resultado, áreas contaminadas com águas residuais não tratadas do processamento de carne tornam-se inadequadas para beber, nadar ou irrigar³.

2.4 DESCRIÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS RESIDUAIS BRUTAS

A composição das águas residuais dos matadouros pode variar consideravelmente devido aos diferentes processos industriais e às

necessidades específicas de água. Isso resulta em uma ampla gama de variações nos níveis de pH, DQO, DBO, TSS, FOG, teor elevado de nitrogênio (principalmente do sangue), fósforo 9 e outros parâmetros. Por exemplo, em matadouros de suínos, estima-se que sejam produzidos cerca de 2.4 kg de DBO por tonelada de peso de carcaça. Já para matadouros de bovinos e aves, esses valores correspondem a aproximadamente 4.4 kg de DBO por tonelada de peso de carcaça e 6.8 kg de DBO por tonelada de peso vivo equivalente (LWK, na sigla em inglês)¹⁰.

A concentração e a composição dos poluentes nas águas residuais sem tratamento são influenciadas por diversos fatores, como o tipo de produto, o cronograma de produção, os procedimentos operacionais, o design da planta de processamento e o nível de gestão da água adotado. Além disso, a quantidade de água economizada desempenha um papel importante nesse cenário. Os parâmetros de qualidade relatados para águas residuais brutas na indústria de processamento de carne estão resumidos na Tabela 1.

TABELA 1 Faixas de parâmetros de qualidade para efluentes brutos do processamento de carne

Parâmetros	Águas residuais de abatedouros de bovinos ³	Agua residuales de mataderos avícolas ¹¹	Agua residuales de mataderos porcinos ^{12,13}	Sangre procedente del procesado de carne ¹⁴
DQO (mg/L)	500-16,000	2,000 - 7,600	465-10,600	375,000
DBO (mg/L)	150-8,500	750- 3,800	500-4,500	150,000-200,000
SST (mg/L)	200-10,000	800-3,600	610-3,800	
N total (mg/L)	50-850	50-200	50-1,500	
P total (mg/L)	25-200	30-80	30-150	
pH	4.9-8.1	6.0-7.8	5.7-8.0	
FOGs (mg/L)	300-2,000	280-1,000	250-10,000	

3

Melhores Práticas de Gestão de Efluentes



3.1 PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO BWMP

É crucial aumentar a adoção de tecnologias, como a recirculação de água e técnicas de gestão para prevenir a poluição, visando alcançar a sustentabilidade. Manter-se informado sobre os avanços tecnológicos e a pesquisa científica é fundamental para alcançar este objetivo. Para uma gestão eficaz das águas residuais, é necessário que a indústria de processamento de carne implemente a prevenção da poluição por meio do BWMP, evitando que os poluentes entrem nas estações de tratamento. Mais informações sobre prevenção da poluição estão disponíveis na seção 4 do GBP. Os exemplos apresentados na Tabela 2 devem servir como incentivo para a prevenção da poluição na fonte nas instalações de processamento de carne.

TABELA 2 Técnicas de gestão para a prevenção da poluição das águas residuais no processamento de carnes

Técnicas de Gestão para Prevenção da Poluição	Descrição dos controles
Geral	
Maximizar a segregação de sangue e água e recuperar sangue para uso em outras indústrias como subproduto (pelo menos 90%) ^{8,15}	<ul style="list-style-type: none"> ● Projetar instalações adequadas de coleta de sangue. Estenda o tempo de sangramento para pelo menos 7 min. ● Implemente métodos de coleta adequados, equipamentos e treinamento de pessoal para garantir que o sangue seja coletado separadamente de outros fluxos de resíduos.
Separe e recicle a água de resfriamento ou reutilize águas residuais relativamente limpas dos sistemas de resfriamento para lavar o gado, se possível. ¹⁰	<ul style="list-style-type: none"> ● Instale filtros para remover detritos e partículas da água de resfriamento antes da reutilização. ● Implementar testes regulares e monitoramento da qualidade da água, pelo menos trimestralmente, para garantir que ela atenda aos padrões exigidos para lavagem de gado e outros usos. ● Considere os procedimentos de limpeza Clean in Place (CIP) para melhorar o consumo de água, energia e produtos químicos. ● Instale um sistema de recirculação separado para a água de resfriamento para evitar que ela se misture com outros fluxos de águas residuais.
Remover gorduras de águas residuais no início do processo de tratamento e tratá-las como resíduos sólidos ou subprodutos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Implemente um sistema de separação e coleta de gorduras na fonte, como graxa ou grades. ● Implementar procedimentos diários de limpeza e manutenção dos equipamentos de coleta e armazenamento para evitar odores, derramamentos e contaminação. ● Destinar corretamente as gorduras e graxas coletadas como resíduos sólidos ou reciclá-las como subprodutos, dependendo de sua qualidade e quantidade.
Aves	
Minimizar ao máximo o consumo de água na produção ¹⁶	<ul style="list-style-type: none"> ● Instale bicos em mangueiras higiênicas e aumente a limpeza mecânica dos sólidos. ● Instale uma rede de recirculação de água para o arraste de penas. ● Aumentar a frequência de limpeza a seco, utilizando aspiradores de carne e sangue nas instalações do matadouro. ● Diminua o tamanho do tanque de escaldamento ou mude o processo convencional. ● Substitua o pré-resfriamento por imersão em água por pré-resfriamento com ar resfriado. ● Utilização do efluente gerado no tanque de atordoamento, após preliminar, na pré-lavagem das gaiolas. ● Reutilizar o efluente final de lavagem do processo de limpeza do abatedouro na pré-lavagem da fábrica de subprodutos.
Suínos e Bovinos	
Minimizar ao máximo o consumo de água na produção ¹⁶	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementar pré-limpeza seca de canetas. ● Implemente o esvaziamento do estômago seco. ● Use câmaras de escaldadura operadas automaticamente em vez de tanques de escaldadura para a remoção de pelos de porcos. ● Substitua a escaldadura por imersão em água por um sistema de pulverização.

3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES BWMP

Os matadouros e as plantas de processamento de carne geralmente tratam suas águas residuais por meio de diversos processos biológicos, químicos e físicos. A escolha desses processos depende de fatores como as operações internas das instalações, as características das águas residuais, a disponibilidade de instalações de tratamento e os regulamentos para o descarte de efluentes. Geralmente, as instalações empregam um processo de pré-tratamento antes de encaminhar as águas residuais para as estações de tratamento. As estações de tratamento costumam consistir em tratamento primário e secundário, e, em alguns casos, tratamento terciário é adicionado para desinfecção, dependendo do método de descarte final. Além disso, as instalações devem lidar com o gerenciamento de lodo proveniente do tratamento das águas residuais. Tecnologias emergentes, como eletrocoagulação (EC), processo de oxidação eletroquímica avançada e tecnologias de membrana, estão disponíveis para o tratamento de águas residuais de processamento de carne. No entanto, é importante observar que essas tecnologias exigem manutenção especializada e representam um alto investimento de capital. Diversos exemplos de tecnologias estão listados na Tabela 3 para referência.

TRATAMENTO PRELIMINAR

É fundamental priorizar determinadas etapas no processo de pré-tratamento para garantir o funcionamento eficiente do sistema. O peneiramento e a sedimentação desempenham um papel significativo na redução das cargas orgânicas e na remoção de sólidos brutos da entrada de água. Os tanques de equalização desempenham um papel crucial na homogeneização do efluente antes que ele alcance a ETE. Eles ajudam a igualar a vazão e as características do efluente, resultando em processos de tratamento mais consistentes e eficazes. As caixas de gordura são essenciais para eliminar gorduras, óleos e graxas, que podem causar problemas mecânicos em tubulações e equipamentos, além de inibir a atividade dos microrganismos envolvidos no processo de tratamento.

TRATAMENTO PRIMÁRIO OU TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS

Os tratamentos físicos englobam processos como sedimentação, aeração e filtração. Os tratamentos químicos, por outro lado, envolvem a coagulação, que é eficaz na remoção de colóides e partículas finas, reduzindo o tempo necessário para sedimentar os sólidos em suspensão. No entanto, ela exige o uso frequente de reagentes químicos, o que pode gerar poluentes secundários. Além disso, tratamentos físico-químicos, como os FAD, podem ser aplicados, uma vez que permitem altas taxas de remoção de DQO, cor e turbidez. No entanto, é importante considerar os custos elevados de energia, possíveis problemas de funcionamento, remoção moderada de nutrientes e desafios na disposição do lodo devido à sua toxicidade³.

TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Devido à elevada concentração de matéria orgânica no efluente das plantas de processamento de carne, como evidenciado na Tabela 1, que pode chegar a até 8.500 mg/L de DBO, o tratamento secundário, usando biorreatores, é mais comum em comparação com alternativas mais dispendiosas, como eletrocoagulação, separação por membranas e oxidação avançada. Integrar métodos de digestão aeróbia e anaeróbia é benéfico para melhorar a remoção de poluentes das águas residuais dos matadouros. Essa abordagem é vantajosa porque depender exclusivamente de métodos aeróbios pode ser desafiador devido ao alto consumo de energia.

Ao utilizar biorreatores, é fundamental administrar com atenção o influxo de águas residuais para evitar a acumulação de substâncias inibidoras, como metais pesados e antibióticos. Em sua maioria, técnicas como digestores anaeróbios, reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB, na sigla em inglês), reatores em batelada sequencial (SBR, na sigla em inglês) e lagoas são empregados para o tratamento anaeróbio. A digestão anaeróbica oferece vantagens consideráveis para tratar eficazmente águas residuais com elevado teor de matéria orgânica, simultaneamente produzindo biogás valioso para energia ou aquecimento. No entanto, requer a implementação de etapas para retirar enxofre e umidade.

O tratamento adicional do material digerido (digestato) é necessário quando se utilizam reatores anaeróbios devido à presença de matéria orgânica, patógenos, odores e nutrientes como N e P. Se esse efluente for lançado diretamente em corpos d'água ou usado na irrigação, pode causar poluição da água ou do solo. Para gerenciar o digestato eficazmente, são necessárias medidas adicionais, como a implementação de reatores aeróbios ou sistemas de filtração. As tecnologias comumente empregadas incluem filtros de leito gotejante, lagoas e reatores de lodos ativados.

TRATAMENTO TERCIÁRIO

A maioria das instalações de tratamento deve adicionar um estágio adicional de tratamento chamado tratamento terciário, que inclui uma etapa de desinfecção para eliminar ou desativar patógenos prejudiciais encontrados nas águas residuais antes de liberá-las no ambiente ⁵.

TRATAMENTO DE LODO

Durante as etapas de tratamento primário e secundário no processamento de carne, é comum produzir volumes significativos de lodo. O gerenciamento desse lodo envolve frequentemente o uso de tecnologias como leitos de secagem, centrífugas ou decantadores para remover o excesso de umidade. Esses processos não apenas reduzem a umidade do lodo, mas também produzem biossólidos, que podem ser aproveitados em atividades como compostagem ou na fabricação de fertilizantes. Atualmente, há pesquisas em andamento para entender os possíveis efeitos de outros contaminantes presentes no lodo, como metais pesados, patógenos, antibióticos, hormônios, pesticidas e desinfetantes. Embora esses componentes possam ser introduzidos em quantidades pequenas durante o processamento ou tratamento dos produtos, há uma preocupação especial em relação à possibilidade de acumulação no solo e nas culturas. Essa preocupação é agravada pelo risco de perdas involuntárias por meio de escoamento superficial ou infiltração próxima à superfície, o que poderia resultar em sua entrada em ambientes aquáticos ¹⁷.

TABELA 3 Tecnologias comuns de tratamento utilizadas para o tratamento de águas residuais do processamento de carne.

Indústria	Tratamento preliminar	Tratamento primário	Tratamento secundário	Tratamento terciário	Tratamento de lodo	Tecnologias emergentes
Processamento de carnes	Equalização de fluxo, telas e filtros mecânicos.	Bacia de sedimentação, FAD e regulação do pH (se necessário)	O tratamento anaeróbio, como filtros anaeróbios e UASB, é seguido por reatores aeróbios ou lagoas.	Cloro, ozônio, UV (se patógenos estiverem presentes, especialmente se as águas residuais forem irrigadas)	O lodo produzido no tratamento primário e secundário deve ser desidratado antes do descarte usando leitos de secagem de lodo, centrífugas ou decantadores. É incentivado a secar ainda mais o lodo para produzir biossólidos que possam ser reaproveitados.	Ultrassom, eletrocoagulação, processo de oxidação avançada, oxidação eletroquímica e tecnologias de membrana como microfiltração, nano filtração, ultrafiltração, osmose reversa e eletrodialise ^{18,19}

3.3 EXEMPLO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS BWMP

Na Figura 2, é apresentado um estudo de caso de um abatedouro de aves localizado em Sorocaba, Brasil ²⁰. O sistema de tratamento de águas residuais desse abatedouro passa por várias etapas. Inicialmente, são utilizadas filtros rotativos e estáticas para a remoção de resíduos sólidos maiores que 1.000 µm e 750 µm. O efluente proveniente desses filtros, junto com a fração de sangue líquido, é coletado em um tanque de equalização com capacidade de 142 m³ antes de prosseguir para o sistema FAD e os reatores UASB. Os reatores UASB foram inoculados com lodo de uma estação de tratamento de esgoto municipal, e o período de partida desses reatores durou 163 dias. Para manter o pH em níveis adequados, é feita a adição de uma base ao fluxo afluente dos reatores. No sistema FAD, a aplicação de taxas

de carregamento superficial de 1,6 ± 0,4 m³/m² por hora resultou em eficiências médias de remoção de 51% para gorduras, óleos e graxas, e 37% para SST. Os reatores UASB também demonstraram um desempenho satisfatório, com eficiências de remoção de DQO e DQO de 67% e 85%, respectivamente. Isso foi alcançado mesmo com variações nas taxas de carga orgânica, que variaram de 0.9 a 2.7 kg DQO/m³ por dia, e nas velocidades de fluxo ascendente, variando de 0.2 a 0.5 m/h. Esses resultados indicam que os reatores UASB são adequados para manter uma eficiência operacional aceitável, mesmo com o aumento previsto na produção de carne de frango na indústria. No entanto, é crucial lidar com as substâncias orgânicas e nutrientes remanescentes para assegurar que a qualidade do efluente atenda aos parâmetros de descarga necessários para proteger os corpos d'água receptores. Para isso, é essencial a implementação de uma unidade de tratamento secundário suplementar, como uma lagoa anaeróbica, para complementar o sistema de tratamento de águas residuais.

FIGURA 2 Fluxograma do processo final em um frigorífico de aves no Brasil ²⁰



Fonte: Elaboração própria

3.4 INDICADORES-CHAVE DE DESEMPENHO E MONITORAMENTO

Cada país possui regulamentos específicos para o tratamento e reutilização de águas residuais, estabelecendo padrões de qualidade da água aceitáveis para diferentes situações, como a descarga em corpos de água, áreas costeiras e sistemas de esgoto, além da reutilização de águas residuais tratadas. A Seção 2.2 do GBP contém uma comparação dos parâmetros de qualidade estabelecidos em diferentes países. Para uma visão abrangente do quadro legal de gerenciamento de águas residuais na região da ALC, o Anexo I apresenta o Quadro A-1.

As Diretrizes de EHS para o processamento de carne do Grupo Banco Mundial (WBG, na sigla em inglês) estabelecem os limites máximos de descarga permitidos em corpos d'água para os parâmetros mencionados na Tabela 4. Esses limites devem ser atingíveis em situações normais de operação, em instalações devidamente projetadas e operadas, e podem servir como indicadores-chave de desempenho

no tratamento de águas residuais. Projetos novos devem estar em conformidade com as Diretrizes de EHS do WBG ou com os regulamentos nacionais aplicáveis, seguindo o que for mais rigoroso, conforme descrito no Anexo I do GBP.

TABELA 4 . Limites admissíveis para descargas em corpos de água. ²²

Poluente	Valor da diretriz
pH	6-9
DBO ₅	50 mg/L
DQO	250 mg/L
NTotal	10 mg/L
PTotal	2 mg/L
FOG	10 mg/L
SST	50 mg/L
Aumento de temperatura	< 3 °C
Bactérias coliformes totais	400 NMP/100 mL

Para prevenir impactos ambientais e sociais, é crucial realizar monitoramentos regulares da qualidade dos efluentes e estabelecer mecanismos eficazes de feedback. Mais detalhes sobre a gestão apropriada de águas residuais no setor do agronegócio podem ser encontrados na Seção 6 do GBP. É fundamental desenvolver e implementar um programa de monitoramento de águas residuais e qualidade da água com recursos adequados e supervisão de gestão para alcançar os objetivos estabelecidos. A Tabela 9 do GBP fornece informações sobre os locais de amostragem e os requisitos analíticos para amostras de água de processo e águas residuais, juntamente com uma recomendação de frequência de amostragem. No entanto, é importante destacar que as regulamentações locais e outros requisitos relativos ao monitoramento de águas residuais e qualidade da água devem sempre ser priorizados e substituir quaisquer diretrizes ou recomendações gerais.

Embora a frequência de amostragem sugerida possa servir como ponto de partida, é essencial entender e cumprir as regulamentações e requisitos locais estabelecidos pelas agências reguladoras. No caso das águas residuais provenientes do processamento de carne, é essencial monitorar vários parâmetros, como pH, concentração de oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura, N, P, DQO, sólidos sedimentáveis e vazão do efluente

tratado com frequência suficiente para garantir a obtenção de dados representativos. Isso é fundamental devido à complexa natureza dessas águas residuais. Além disso, devido ao potencial risco associado aos microrganismos patogênicos presentes nas águas residuais, é necessário monitorá-los de forma regular. Isso é importante para a segurança da estação de tratamento e a saúde dos trabalhadores. Os registros devem conter informações como data, hora, resultados das medições, ajustes realizados e outros dados pertinentes. Esta abordagem ajuda a manter o controle e garantir a conformidade com as diretrizes ambientais e de segurança. É importante utilizar equipamentos calibrados e garantir que as medições sejam conduzidas por operadores devidamente treinados. Também é necessário disponibilizar um espaço de laboratório na estação de tratamento para essa finalidade. Além disso, é crucial estabelecer procedimentos de registro para documentar os resultados do monitoramento. Para análises microbianas e físico-químicas, é recomendável que laboratórios externos certificados, preferencialmente com certificação ISO 17025, forneçam registros de monitoramento, cuja frequência pode variar de acordo com os regulamentos regionais. A recomendação geral é realizar essas análises pelo menos trimestralmente.

4

Referências

- 1) Futuris Consulting. Good Practice Note: Wastewater Management for the Agribusiness Sector, 2023.
- (2) FONTAGRO. Meat production in Latin America and the Caribbean. <https://www.fontagro.org/en/publications/press/meat-production-in-latin-america-and-the-caribbean/>.
- (3) Bustillo-Lecompte, C.; Mehrvar, M.; Quiñones-Bolaños, E. Slaughterhouse Wastewater Characterization and Treatment: An Economic and Public Health Necessity of the Meat Processing Industry in Ontario, Canada. *J. Geosci. Environ. Prot.* 2016, 04 (04), 175–186. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.44021>.
- (4) Maré, F. A.; Jordaan, H. The Water Footprint of Primary and Secondary Processing of Beef from Different Cattle Breeds: A Value Fraction Allocation Model. *Sustainability* 2021, 13 (12), 6914. <https://doi.org/10.3390/su13126914>.
- (5) Kharat, D. S. Pollution Control in Meat Industry. *Curr. Environ. Eng.* 2019, 6 (2), 97–110. <https://doi.org/10.2174/2212717806666190204102731>.
- (6) European Commision. Integrated Pollution Prevention and Control: Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-Products Industries, 2005.
- (7) US EPA. Development Document for the Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Meat and Poultry Products Industry Point Source Category, 2002.
- (8) World Bank Group. Environmental, Health and Safety Guidelines for Meat Processing, 2007.
- (9) Aleksić, N.; Nešović, A.; Šušteršič, V.; Gordić, D.; Milovanović, D. Slaughterhouse Water Consumption and Wastewater Characteristics in the Meat Processing Industry in Serbia. *DESALINATION WATER Treat.* 2020, 190, 98–112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>.
- (10) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Management of Waste from Animal Product Processing; 1996. <https://www.fao.org/3/x6114e/x6114e00.htm>.
- (11) Ngobeni, P. V.; Basitere, M.; Thole, A. Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater Using Electrocoagulation: A Review. *Water Pract. Technol.* 2022, 17 (1), 38–59. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.108>.
- (12) Suceveanu, M.; Suceveanu, I.; Grosu, L.; Alexa, I.-C. Treatment of Wastewater from Swine and Poultry Slaughterhouses. 2018, 24 (2).
- (13) Villarroel Hipp, M. P.; Silva Rodríguez, D. Bioremediation of Piggery Slaughterhouse Wastewater Using the Marine Protist, *Thraustochytrium Kinney VAL-B1*. *J. Adv. Res.* 2018, 12, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.01.010>.
- (14) Yetilmezsoy, K.; Ilhan, F.; Kiyan, E.; Bahramian, M. A Comprehensive Techno-Economic Analysis of Income-Generating Sources on the Conversion of Real Sheep Slaughterhouse Waste Stream into Valorized by-Products. *J. Environ. Manage.* 2022, 306, 114464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114464>.
- (15) Philipp, M.; Masmoudi Jabri, K.; Wellmann, J.; Akrouf, H.; Boussemmi, L.; Geißen, S.-U. Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Review on Recycling and Reuse Possibilities. *Water* 2021, 13 (22), 3175. <https://doi.org/10.3390/w13223175>.
- (16) Bailone, R.; Roça, R.; Fukushima, H.; De Aguiar, L. K. Sustainable Water Management in Slaughterhouses by Cleaner Production Methods—a Review. *Renew. Agric. Food Syst.* 2021, 36 (2), 215–224. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000083>.
- (17) Shi, W.; Healy, M. G.; Ashekuzzaman, S. M.; Daly, K.; Leahy, J. J.; Fenton, O. Dairy Processing Sludge and Co-Products: A Review of Present and Future Re-Use Pathways in Agriculture. *J. Clean. Prod.* 2021, 314, 128035.
- (18) Fatima, F.; Du, H.; Kommalapati, R. R. Treatment of Poultry Slaughterhouse Wastewater with Membrane Technologies: A Review. *Water* 2021, 13 (14), 1905. <https://doi.org/10.3390/w13141905>.
- (19) Ng, M.; Dalhatou, S.; Wilson, J.; Kamdem, B. P.; Temitope, M. B.; Paumo, H. K.; Djelal, H.; Assadi, A. A.; Nguyen-Tri, P.; Kane, A. Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. *Processes* 2022, 10 (7), 1300. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>.
- (20) Del Nery, V.; de Nardi, I. R.; Damianovic, M. H. R. Z.; Pozzi, E.; Amorim, A. K. B.; Zaiat, M. Long-Term Operating Performance of a Poultry Slaughterhouse Wastewater Treatment Plant. *Resour. Conserv. Recycl.* 2007, 50 (1), 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.06.001>.
- (21) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Dairy Processing, 2007.
- (22) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Aquaculture, 2007.

