

Avaliação de Ciclo de Vida 2025

Produção do gado em
confinamento com dieta
nutricional com Forragem Verde
Hidropônica - Pegada de Carbono



Joinville (SC), 04 de julho de 2025.

BioFeed.

Distrito Federal (DF)

Prezados Senhores,

É com grande satisfação que apresentamos o Relatório de Avaliação de Ciclo de Vida desta conceituada empresa. Nossa avaliação foi conduzida por profissionais multidisciplinares experientes e capacitados, no intuito de atender as necessidades de V.S.as.

A Avaliação de Ciclo de Vida focado na pegada de carbono apresenta resultados e conclusões que se baseiam exclusivamente nas fases do ciclo de vida do sistema de produto e nas fronteiras do sistema estabelecidas para a unidade funcional especificada, em conformidade com as normas ISO 14040:2014 e 14044:2014.

A aplicação desses resultados e conclusões em outros métodos ou processos de produção é estritamente vedada. Além disso, é proibida a divulgação de parte dos resultados de maneira que distorça seu significado, bem como a realização de generalizações injustificadas sobre os resultados e conclusões apresentados.

Esta Avaliação de Ciclo de Vida foi avaliada na seguinte situação:

Criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo com o uso de suplementação de Forragem Verde Hidropônica ao invés da ração convencional na região dos estados de Goiás, Minas Gerais e do Distrito Federal.

Estamos à disposição para prestar qualquer esclarecimento adicional.

MARCOS FAISTAUER
MENDES:8052087104
9
Assinado de forma digital por
MARCOS FAISTAUER
MENDES:80520871049
Dados: 2025.07.04 10:21:16 -03'00'

Marcos F. Mendes
Responsável Técnico GEE

Documento assinado digitalmente
gov.br YURI EDUARDO PEREIRA BAUER
Data: 04/07/2025 10:14:43-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Yuri E. P. Bauer
Gestor do Projeto

Razão Social		
GEMPTEC - SERVIÇOS TÉCNICOS E AMBIENTAIS LTDA - ME (BIOFEED BRASIL)		
CNPJ	CEP	Endereço da Matriz
10.372.429/0003-25	71909-540	Rua das Figueiras, Lote 07, Norte (Águas Claras), Brasília, DF

Consultoria	Email
Martinelli EGS	esg@martinelliaud.com.br

Escopo

O estudo em questão avaliou o cenário de produção de bovino de corte em sistema de confinamento substituindo a ração tradicional do animal por uma alimentação majoritariamente focada em forragem de milho produzida em galpões em sistema hidropônico vertical.

O estudo é uma avaliação comparativa entre o sistema proposto e o sistema tradicional de produção, este último usado como parâmetro no cenário apresentado na base de dados Ecoinvent 3.10.1 – beef cattle production on pasture and feedlot | cattle for slaughtering, live weight | cutoff, U – BR.

O cenário comparativo é o uso da forragem verde hidropônica (FVH) da BioFeed substituindo a nutrição tradicional. Para isso construiu-se o fator de emissão “Produção de forragem verde hidropônica em sistema estufa | peso de forragem de milho | cutoff, U-BR – DF, GO, MG”

O estudo foi conduzido de acordo com os princípios estabelecidos nas normas ISO 14040 e ISO 14044, abrangendo as seguintes etapas:

- Definição do objetivo e escopo
- Inventário do ciclo de vida (ICV)
- Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)
- Interpretação dos resultados

Sumário

Apresentação.....	3
Cliente.....	3
Consultoria responsável.....	3
Escopo	3
Sumário.....	4
Lista de Figuras e Tabelas.....	6
Glossário.....	8
Relatório de avaliação de ciclo de vida.....	10
Sistema produtivo	10
Importância econômica do setor agropecuário.....	11
Contribuição do setor agropecuário para as emissões de GEE.....	11
Desmatamento e mudança no uso da terra.....	12
Emissões da pecuária.....	12
Uso de fertilizantes e manejo do solo.....	12
Combustão móvel (maquinário agrícola).....	12
Metodologia.....	13
Mudança climática e gases com potencial de aquecimento global.....	17
Objetivo do estudo.....	18
Descrição do produto.....	18
Função do produto.....	19
Área de estudo.....	20
Unidade funcional.....	20
Fluxo de referência.....	21
Sistema abordado para o produto.....	22
Representatividade temporal.....	23
Síntese das informações do produto.....	24

Sumário

Análise do inventário de ciclo de vida	26
Insumos para a forragem hidropônica verde.....	26
Sistema produtivo do gado a pasto em confinamento	29
Fermentação entérica e dejetos.....	29
Local de produção.....	32
Interpretação de resultados	33
Resultados e Discussão	39
Estatísticas	41
Sistema de produção da forragem hidropônica verde.....	41
Criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo com uso de FVH	42
Criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo comparativo..	43
Referências bibliográficas	45
Anexos	47

Lista de Figuras e Tabelas

FIGURA 1. Sistema de Ciclo de Vida.....	5
FIGURA 2. Fluxograma de uma ACV.....	14
FIGURA 3. Estatística de Monte Carlo.....	16
TABELA 1 – Potenciais de aquecimento global.....	17
FIGURA 5 – Localidade do estudo da FVH aplicada na produção de gado bovino de corte.....	20
Eq.1 – Fórmula de Nutrientes Digestíveis Totais.....	21
Eq.2 – Fórmula de energia digestível.....	21
FIGURA 7 – Limite dos sistemas avaliados em ambos os estudos	22
FIGURA 8 – Limites e fronteiras da produção do gado de corte com alimentação FVH (cenário BioFeed).....	23
FIGURA 9 – Limites e fronteiras da produção do gado de corte com alimentação tradicional (cenário comparativo)	23
TABELA 3 – Síntese das informações da forragem verde hidropônica.....	24
TABELA 4 – Síntese das informações da produção do gado a pasto confinado com nutrição tradicional.....	25
TABELA 5 – Síntese das informações da produção do gado a pasto confinado com nutrição FHV.....	25
TABELA 6 – Total de itens de cada categoria de material empregado na edificação e operação da produção da forragem hidropônica.....	27
Eq. 3 – Cálculo do peso integral por item utilizado na contabilização no inventário de ciclo de vida.....	27
TABELA 7 – Total de itens por peso utilizados na produção da forragem hidropônica.....	28
TABELA 8 – Composição da nutrição animal do cenário comparativo de criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo.....	29
Eq.4 – Fator de emissão de metano por fermentação entérica.....	29
TABELA 9 – Resultado de emissão de fermentação entérica em kgCH ₄ /dia....	30
Eq.5 – Taxa de ingestão de nitrogênio para bovinos.....	30
Eq.6 – Taxas anuais de excreção de nitrogênio (Tier 2).....	30
Eq.7 – Emissões diretas de N ₂ O da gestão de dejetos.....	31
TABELA 10 – Resultado de emissão de dejetos em kgN ₂ O/ano.....	31
TABELA 11 – Composição da nutrição animal do cenário com FVH de criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo.....	31

Lista de Figuras e Tabelas

TABELA 12 – Resultado de emissão da fermentação entérica em kgCH ₄ /dia e dejetos em kgN ₂ O/ano.....	32
TABELA 13 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida de ambos os datasets do estudo.....	32
TABELA 14 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida do cenário comparativo de criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo.....	33
TABELA 15 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo.....	33
TABELA 16 – Emissões em kg de CO ₂ eq por categoria de itens utilizados na produção da FVH e sua representatividade	34
FIGURA 9 – Diagrama de Sankey da produção da FVH.....	35
TABELA 17 – Emissões em kg de CO ₂ equivalente dos cenários de engorda e produção do gado em confinamento e sistema intensivo.....	38
TABELA 15 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo.....	41
FIGURA 10 – Estatística de Monte Carlo para o sistema de produção da FVH	42
TABELA 16 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo.....	42
FIGURA 11 – Estatística de Monte Carlo para a criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo com o uso de FVH.....	43
TABELA 17 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo.....	43
FIGURA 12 – Estatística de Monte Carlo para a criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo comparativo.....	44
TABELA 18 – Total de itens utilizados para a fabricação e produção da forragem verde hidropônica.....	47
TABELA 19 – Total de itens utilizados para a fabricação e produção da forragem verde hidropônica.....	50
Tabela 20 – Resultado da pegada de carbono por item do dataset – Árvore de contribuição.....	52

Glossário

Ciclo de vida: refere-se a todas as etapas da vida de um produto, desde a extração de matérias-primas, produção, transporte, uso até o descarte ou reciclagem.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.

Inventário do Ciclo de Vida (ICV): conjunto de dados sobre todos os fluxos de materiais e energia associados a cada etapa do ciclo de vida de um produto.

Unidade funcional: quantificação de uma função específica de um produto que serve como base de comparação para ACV. Por exemplo, a quantidade de produto necessária para cumprir um determinado serviço.

Limites do sistema: definição das fronteiras do sistema a ser analisado em uma ACV, determinando quais processos e etapas serão incluídos.

Sistemas de produto: conjunto de processos interligados que compõem o ciclo de vida de um produto.

Processo elementar: menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida, para o qual dados de entrada e saída são quantificados.

Fluxo elementar: material ou energia retirados do meio ambiente e que entra no sistema em estudo, ou material ou energia liberado no meio ambiente pelo sistema em estudo sem transformação prévia ou subsequente.

Fluxo de produto: entrada ou saída de produtos provenientes de ou com destino a outro sistema de produto.

Fluxo de energia: entrada ou saída de energia de um processo elementar ou sistema de produto, quantificada em unidades de energia.

Materiais de entrada (inputs) e saída (outputs): refere-se aos insumos (energia, água, materiais) e emissões/resíduos associados a cada processo do ciclo de vida de um produto.

Impacto ambiental: alterações no meio ambiente resultantes das atividades ao longo do ciclo de vida de um produto, como emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais e poluição.

Categoria de impacto: classificação dos diferentes tipos de impactos ambientais que podem ocorrer em função de um produto, como aquecimento global, acidificação, eutrofização etc.

Pegada de carbono: medida das emissões de gases de efeito estufa associadas ao ciclo de vida de um produto.

Alocação: processo de distribuição dos impactos ambientais entre diferentes produtos ou coprodutos que compartilham processos dentro do ciclo de vida.

Análise de Impacto do Ciclo de Vida (AICV): etapa da ACV na qual os dados do inventário são analisados para avaliar os potenciais impactos ambientais.

Afirmação comparativa: reivindicação ambiental quanto à superioridade ou equivalência de um produto frente a um produto concorrente que desempenha a mesma função.

Aspecto ambiental: elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente.

Stakeholder: indivíduo ou grupo que tem interesse ou é afetado pelo desempenho ambiental de um sistema de produto ou pelos resultados da ACV.

Interpretação do Ciclo de Vida: fase da ACV na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto são consideradas com relação ao objetivo e escopo definidos, para chegar a conclusões e recomendações.

Dados primários: são dados específicos coletados diretamente no local de produção ou operação do processo analisado. Representam medições exclusivas da empresa ou processo estudado, como consumo de energia, água, emissões, entre outros. Esses dados são mais precisos e confiáveis, refletindo a realidade operacional específica.

Dados secundários: são dados genéricos obtidos de fontes externas, como bancos de dados públicos, literatura científica ou estudos anteriores. Eles representam médias setoriais ou regionais, sendo utilizados quando os dados primários não estão disponíveis ou para representar etapas fora do controle direto da empresa, como a cadeia de suprimentos (upstream) ou o uso/descartes (downstream).

Relatório de avaliação de ciclo de vida

A crescente preocupação com os impactos ambientais associados a produtos e processos industriais tem impulsionado a busca por metodologias que permitam uma compreensão mais profunda e abrangente desses efeitos ao longo de seu ciclo de vida. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) emerge como uma ferramenta essencial para a análise e gestão desses impactos.

Sob tal perspectiva foi desenvolvido o estudo de ACV relacionado à elaboração da produção da forragem hidropônica para alimentação do gado de corte em sistema de confinamento comparada à alimentação tradicional. Essa iniciativa visa aprofundar a compreensão dos impactos associados à produção desse insumo, o que permitirá à empresa tomar medidas mais informadas em direção à sustentabilidade.

Neste relatório são apresentados os resultados preliminares do mapeamento do processo de produção da forragem hidropônica aplicada ao cenário de alimentação do gado de corte em confinamento, bem como as entradas e saídas em cada etapa do processo para posterior análise dos impactos relacionados.

Os dados utilizados para elaboração do estudo são referentes a 2024 e a metodologia empregada foi baseada na ABNT ISO 14040:2016. Este documento abrange a análise detalhada da cadeia produtiva, a explicação do estudo de ACV realizado, a metodologia aplicada, os resultados preliminares e os próximos passos essenciais para a conclusão do estudo proposto.

Sistema produtivo

O setor agropecuário é um dos pilares da economia brasileira, desempenhando um papel crucial no Produto Interno Bruto (PIB), na geração de empregos e na balança comercial do país. Entretanto, sua relevância econômica vem acompanhada de desafios ambientais significativos, principalmente no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Instituto Escolhas, 2020).

O Brasil está entre os maiores emissores globais desses gases, e grande parte das emissões decorre das atividades agropecuárias, especialmente da conversão de áreas florestais para pastagens e lavouras, da fermentação entérica dos rebanhos bovinos e do uso de insumos agrícolas (SEEG, 2023).

Importância econômica do setor agropecuário

A agropecuária é um dos setores mais competitivos do Brasil e exerce papel central no desenvolvimento econômico nacional. Atualmente, representa cerca de 24% do PIB brasileiro, sendo responsável por uma significativa parcela das exportações do país. O Brasil figura entre os maiores exportadores mundiais de soja, carne bovina, frango, açúcar e café, além de possuir um dos mais expressivos rebanhos comerciais do planeta (CNA, 2025).

É preciso destacar ainda que o setor agropecuário emprega milhões de brasileiros, abrangendo desde pequenos produtores da agricultura familiar até grandes corporações do agronegócio. A balança comercial do país também se beneficia do desempenho agropecuário, uma vez que o setor gera superávits comerciais expressivos, contribuindo para a estabilidade econômica e para a geração de divisas (Brasil, 2024).

Contribuição do setor agropecuário para as emissões de GEE

Apesar de sua importância econômica, a agropecuária representa um dos principais desafios ambientais do Brasil. O setor responde por uma parcela significativa das emissões nacionais de gases de efeito estufa, sendo os principais fatores responsáveis:

- Fermentação entérica: responsável por grande parte das emissões de metano (CH_4), especialmente devido à criação extensiva de gado de corte;
- Manejo de dejetos animais: libera metano e óxido nitroso (N_2O), principalmente em sistemas confinados ou sem tratamento adequado;
- Fertilizantes nitrogenados: emitem óxido nitroso, um GEE com potencial de aquecimento global cerca de 300 vezes maior que o CO_2 ;
- Mudança de uso da terra: associada à expansão agropecuária sobre áreas de floresta, o que contribui para emissões indiretas expressivas por desmatamento;
- Queimadas e manejo inadequado do solo: degradam o carbono estocado e intensificam a liberação de CO_2 .

Desmatamento e mudança no uso da terra

A conversão de florestas em áreas agrícolas e pastagens é uma das principais fontes de emissão de CO₂ no Brasil. O desmatamento, sobretudo na Amazônia e no Cerrado, libera grandes quantidades de carbono estocado no solo e na vegetação, intensificando o efeito estufa.

Estima-se que aproximadamente 50% das emissões brasileiras estejam relacionadas ao desmatamento e às mudanças no uso da terra, muitas vezes impulsionadas pela expansão agropecuária.

Emissões da pecuária

O Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, com mais de 200 milhões de cabeças de gado. A fermentação entérica dos bovinos é uma das principais fontes de metano (CH₄), um gás com potencial de aquecimento global cerca de 28 vezes maior do que o do dióxido de carbono (CO₂). Esse fator faz com que a pecuária seja uma das atividades mais impactantes no balanço de emissões nacionais.

Uso de fertilizantes e manejo do solo

O uso de fertilizantes nitrogenados e práticas inadequadas de manejo do solo contribuem significativamente para a liberação de óxido nitroso (N₂O), um gás com potencial de aquecimento global cerca de 300 vezes maior que o CO₂. A intensificação do uso de fertilizantes químicos e o revolvimento excessivo do solo também impactam a emissão de carbono, tornando o manejo agrícola um fator crítico para a sustentabilidade ambiental.

Combustão móvel (maquinário agrícola)

O uso de maquinário agrícola é essencial para a modernização da produção agropecuária, aumentando a produtividade e otimizando o uso da terra. No entanto, essas máquinas também contribuem para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), principalmente devido ao consumo de combustíveis fósseis, compactação do solo e emissão indireta por meio da fabricação de equipamentos.

Metodologia

Metodologia ISO 14040/14044

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que surgiu na década de 1960, período marcado pela crise do petróleo e pela crescente preocupação com questões ambientais (CETEA, 2002; ALEM, 2015).

Com a conscientização ambiental, tanto a sociedade civil quanto a comunidade acadêmica passaram a analisar os produtos em circulação no mercado, visando compreender os impactos ambientais ao longo de toda a sua cadeia de valor (CMU, 2015; COELHO FILHO, 2016).

Após a consolidação de uma abordagem sistêmica para mapear e compreender os impactos dos produtos em circulação, houve uma quantificação das entradas e saídas de fluxos elementares ao longo dos processos produtivos em várias indústrias. Isso permitiu avaliar como esses fluxos podem estar relacionados aos impactos, da produção ao descarte. Assim, surgiu a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida.

A ACV é uma metodologia que investiga os aspectos ambientais e os possíveis impactos ao longo da vida de um produto, desde a obtenção da matéria-prima até a sua disposição final (Figura 1). Ela abrange todas as etapas do ciclo de vida do produto, incluindo consumo de matérias-primas, produção, distribuição, uso, recuperação, reúso e disposição final. Além disso, permite avaliar como esses impactos podem afetar o meio ambiente e a sociedade em diferentes estágios, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões sustentáveis em diversas áreas.

FIGURA 1 – Sistema de ciclo de vida



FONTE: Unep; 2007

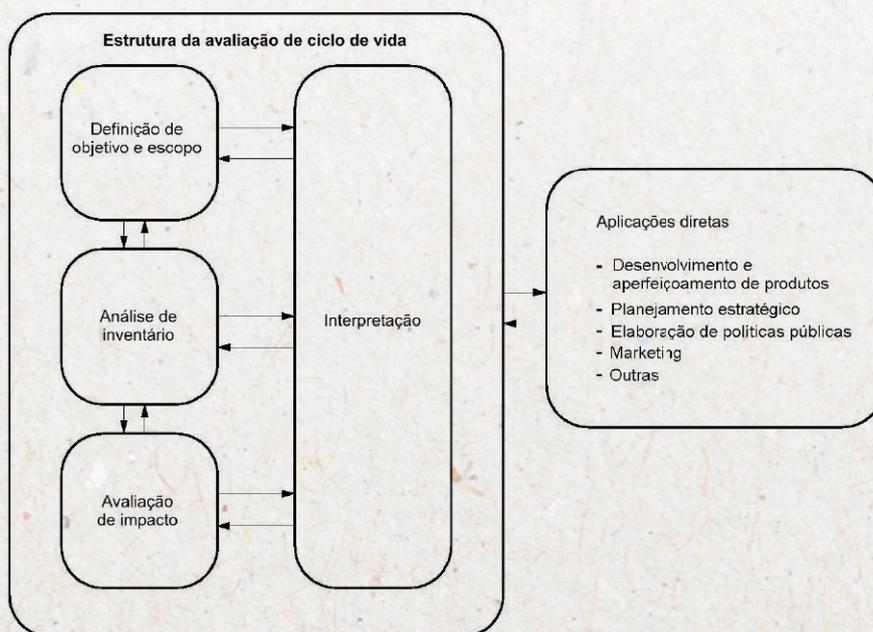
As categorias gerais de impactos que necessitam ser consideradas em um estudo de ACV incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

A ACV serve, ainda, para ajudar na identificação de oportunidades na melhoria dos aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida, na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais, na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental e no marketing das empresas.

A confiabilidade da ACV, para além de seu background científico, pode ser atribuída à normatização do seu framework pela ISO (Rede ACV, 2020). A estrutura metodológica surge através da norma ABNT ISO 14.040:2009, pertencente ao grande grupo das normas ABNT ISO 14.000, referentes ao meio ambiente. A normatização traz uma base comum e internacionalmente aceita por diversos stakeholders, contribuindo assim para uma harmonização da aplicação desta ferramenta.

A ABNT NBR ISO 14.040 definiu que os estudos de ACV compreendem quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e, por fim, interpretação. O relacionamento entre as fases está ilustrado na Figura 2, conforme a seguir:

FIGURA 2. Fluxograma de uma ACV



FONTE: ISO 14.040, 2009

A etapa definição de objetivo e escopo diz respeito à descrição clara dos objetivos do estudo e do escopo da análise, incluindo os sistemas e os limites funcionais considerados.

Na etapa análise de inventário entra o detalhamento dos elementos do sistema estudado, incluindo materiais, processos, energia e fluxos de resíduos ao longo do ciclo de vida do produto.

Além disso, nessa etapa é importante obter a listagem completa e a quantificação dos inputs e outputs de recursos e emissões associadas ao sistema, geralmente organizados em categorias como energia, materiais, água, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos.

O apontamento da confiabilidade desses dados pode ser feito utilizando-se a estatística de Monte Carlo (Heijungs & Suh, 2002).

A etapa avaliação dos impactos considera tudo o que pode estar associado ao ciclo de vida do produto.

É quando se faz a quantificação dos impactos, utilizando métodos e indicadores relevantes (por exemplo, pegada de carbono, consumo de recursos naturais, toxicidade, acidificação, eutrofização, entre outros).

Uma das categorias de impacto visadas na atualidade é a de mudanças climáticas, ou seja, o potencial de aquecimento global que uma atividade possui, o quanto ela contribui para esta situação, sendo mensurada em quilograma de dióxido de carbono equivalente (kgCO₂eq).

Comumente essa categoria de impacto é descrita como “pegada de carbono”.

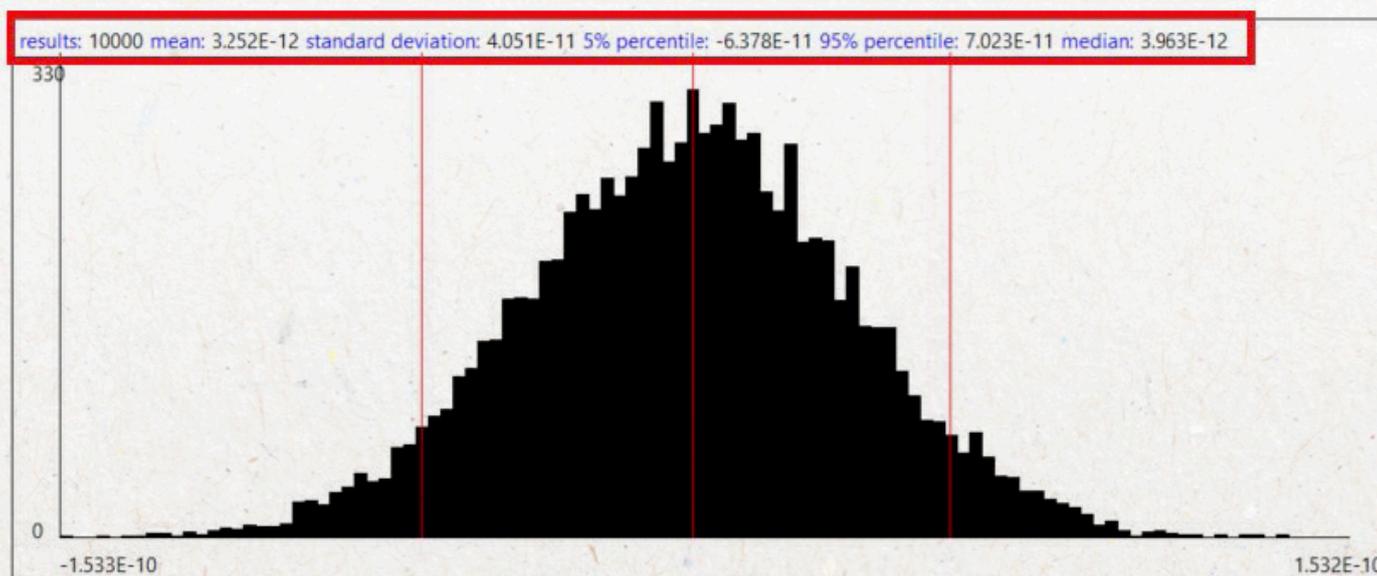
Durante a interpretação dos resultados são destacados os impactos ambientais mais significativos, identificando áreas de melhoria e incertezas associadas aos dados e métodos utilizados.

Por fim, é desejável ainda que um estudo deste porte encerre com as recomendações para ações futuras visando à redução dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto.

No presente caso, a aferição da qualidade das manipulações aplicadas nos cenários construídos deu-se através da estatística de Monte Carlo, dentro do sistema Ecoinvent 10.1, baseado com Heijungs & Suh (2002).

Tem como principal abordagem a repetição e verificação da aleatoriedade do experimento, replicando o mesmo teste “n” vezes para aferir a dispersão dos resultados, obtendo propriedades estatísticas desta amostra, como média e desvio-padrão, e assim obtendo a indicação e dispersão do resultado.

FIGURA 3. Estatística de Monte Carlo



FONTE: GreenDelta, 2009

Mudança climática e gases com potencial de aquecimento global

O potencial de aquecimento global (PAG) – também conhecido pela sigla GWP, do inglês global potential warming – é uma métrica utilizada para quantificar o impacto relativo de diferentes gases de efeito estufa na retenção de calor na atmosfera ao longo de um período específico, geralmente 100 anos.

Ele expressa a contribuição de cada gás em termos equivalentes de dióxido de carbono (CO₂eq), permitindo comparar a intensidade de seu efeito no aquecimento global (IPCC, 2013).

Esses gases possuem tempos de permanência diferentes na atmosfera e variações de impacto climático. Por isso, o PAG é uma ferramenta crucial para avaliar estratégias de mitigação e políticas de redução de emissões em acordos internacionais como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris. Os valores adotados para o estudo vão de acordo com o relatório AR5 de 2013 do IPCC, conforme Tabela 1 abaixo:

TABELA 1 – Potenciais de aquecimento global

Gás	Família / Tipo	GWP	Referência
Dióxido de carbono (CO ₂)	-	1	IPCC 2013
Metano (CH ₄)	-	28	
Óxido nitroso (N ₂ O)	-	265	
HFC-23	HFC	12.400	
HFC-32		677	
HFC-41		116	
HFC-125		3.170	
HFC-134		1.120	
HFC-134a		1.300	
HFC-143		328	
HFC-143a		4.800	

FONTE: Programa Brasileiro GHG Protocol, 2022

A pegada de carbono refere-se à soma total das emissões de gases de efeito estufa, expressas em CO₂eq, associadas direta ou indiretamente a um produto, serviço, organização ou atividade ao longo de seu ciclo de vida.

Essas métricas são fundamentais em análises de ciclo de vida (ACV) para quantificar o impacto climático e orientar estratégias de redução de emissões, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (ABNT, 2009).

ACV do gado confinado a pasto com forragem hidropônica

Esta seção apresenta a definição do objetivo e escopo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da forragem hidropônica aplicada à produção do gado de corte em confinamento. A estrutura e o procedimento de definição do objetivo e escopo baseiam-se na NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) e no Guia Qualidata – Requisitos de qualidade de conjuntos de dados para o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida, todas utilizadas no decorrer das quatro fases do estudo, às quais nos referimos no capítulo Metodologia.

Objetivo do estudo

O objetivo da BioFeed com o estudo de pegada de carbono é identificar valores relacionados às emissões do produto FVH quando utilizado como nutrição para o gado de corte em sistema de confinamento, quando comparado com os métodos tradicionais de criação e produção desse tipo de gado. Outra expectativa com o estudo é avaliar a possibilidade de inserção da empresa no mercado internacional.

Descrição do produto

O estudo é pautado na substituição da nutrição com grãos de milho, farelo de soja, sal mineral e matéria seca, por uma nutrição com FVH, silagem e quirela de milho na produção do gado de corte em confinamento. A produção de FVH ocorre em sistema de estufa, utilizando estruturas automatizadas e modulares adaptáveis às propriedades rurais.

O processo envolve preparação das sementes, ativação metabólica, germinação e crescimento das plântulas, permitindo o cultivo sem solo e com baixo consumo de água.

A produção da FVH ocorre em ciclos de 7 a 10 dias e fornece alimento com alta digestibilidade e composição nutricional adequada para a alimentação animal. Os sistemas da BioFeed possibilitam o fornecimento contínuo de alimento, independentemente de condições climáticas.

Para estudar o sistema produtivo do gado de corte utilizou-se o descritivo do Ecoinvent 3.10.1, com o seguinte dataset: beef cattle production on pasture and feedlot | cattle for slaughtering, live weight | cutoff, U – BR.

Compreende a criação intensiva de bovinos em pastagem plantada com terminação em confinamento. A produção tem início com o replantio das pastagens e inclui todas as atividades até a entrega dos animais prontos para o abate, abrangendo touros, vacas de descarte e novilhos gordos.

Os animais são mantidos em pastagens adubadas regularmente e recebem suplemento mineral em cochos. A infraestrutura considerada inclui apenas cercas, e o sistema incorpora práticas como calagem, aplicação de fertilizantes fosfatados e potássicos, controle de plantas daninhas e uso de equipamentos agrícolas para preparo e manutenção do solo.

As emissões diretas, como metano entérico, óxido de nitrogênio e amônia, bem como o uso de água e mudanças no uso da terra, também são contabilizadas. O sistema não inclui o uso de hormônios, proibido no Brasil, e não considera medicamentos veterinários, embora sejam comumente utilizados.

Função do produto

A FVH desenvolvida pela BioFeed desempenha diversas funções importantes, atendendo diferentes formas de produção agrônômica. A forragem hidropônica, por ser um insumo na alimentação da bovinocultura, avicultura, suinocultura, caprinocultura, ovinocultura, entre outras, oferece flexibilidade para ser moldada e implementada. A FVH se insere no conceito de serviço-produto, uma estratégia da economia circular em que a servitização de um produto é inserida dentro de uma cadeia produtiva.

A lógica por trás desse conceito é a verticalização alimentar do animal, reduzindo a área de produção da alimentação e diminuindo a necessidade da compra da composição tradicional de ração dos animais em confinamento, na qual entra majoritariamente grãos, matéria seca e complementos minerais, além da pastagem no local de confinamento. O objetivo é maximizar o consumo da forragem hidropônica dada a cultura animal, aprimorando a sua nutrição com um alimento mais rico.

Por fim, o estudo está focado na pegada de carbono, trazendo dados e informações que contribuam para a gestão mais sustentável do negócio, quando comparado com os métodos tradicionais de criação e produção do gado de corte. Outro benefício esperado é a inserção da empresa no mercado internacional.

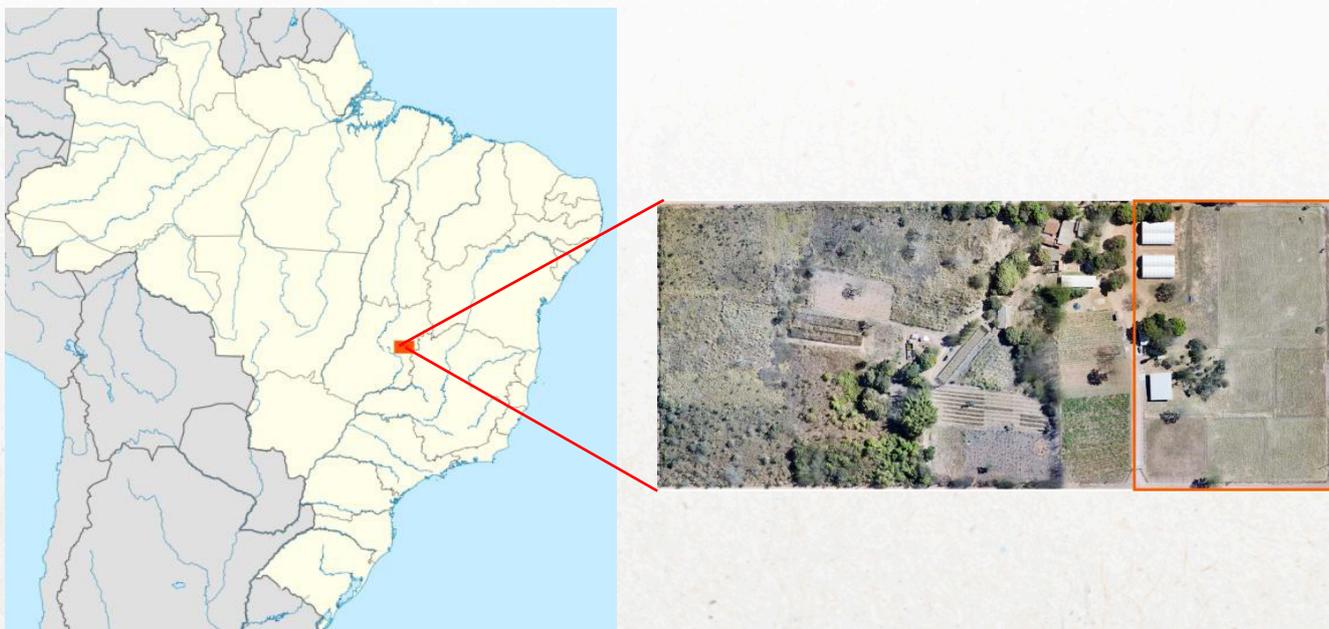
O estudo comparativo foi a nutrição animal aplicada ao gado de corte destinado a proteína animal para consumo humano, com aporte nutricional compatível às necessidades dietéticas médias. A função é mensurada considerando a produção intensiva de 1 kg de peso vivo de bovinos de corte.

Área de estudo

A BioFeed possui escritório em Brasília. A área de estudo refere-se às obras para implantação do confinamento com piquetes e FVH, situado na Rodovia DF-130, Km 14, PAD-DF (Figura 5).

Dessa forma, as adaptações dentro dos datasets usados no estudo foram para o Distrito Federal e os estados de Goiás e Minas Gerais. Nessa região é onde ocorreram as primeiras adesões de fazendas de gado ao uso da forragem hidropônica, conforme a figura abaixo.

FIGURA 5 – Localidade do estudo da FVH aplicada na produção de gado bovino de corte



FONTE: BioFeed

Unidade funcional

A unidade funcional adotada foi o conceito de nutrientes digestíveis totais para avaliar o valor de quilocaloria (kcal) para a forragem de milho hidropônica e a energia digestível absorvível pelo organismo do animal (Mendes, 2015).

Uma nutrição baseada na solução da BioFeed fornece ao animal menos energia diariamente, porém a absorção desta energia disponível é maior.

Esses valores foram obtidos através do conceito de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT), um dos modos mais empregados de expressão de energia.

Ele representa a soma das frações digestíveis dos alimentos de acordo com as análises de Wendee (Sistema Proximal) (Medeiros, 2015). As fórmulas usadas para obtenção desses valores foram:

Eq.1 – Fórmula de Nutrientes Digestíveis Totais

$$\text{NDT}(\%) = \% \text{PBD} + \% \text{FBD} + \% \text{ENND} + (\% \text{EED} \times 2,25)$$

- NDT = Nutrientes Digestíveis Totais
- PBD = Proteína Bruta Digestível
- FBD = Fibra Bruta Digestível
- ENND = Extrativo Não Nitrogenado Digestível
- EED = Extrato Etéreo Digestível

FONTE: Mendes, 2015

Com os valores de NDT para cada alimento empregado em ambas as nutrições se obteve o resultado total da proporção de nutrientes digestíveis.

Em sequência, calculou-se a energia digestível para cada nutrição.

Eq.2 – Fórmula de energia digestível

$$\text{ED} = \text{NDT}(\%) \times 4,409 \text{ (Mcal)}$$

- ED = Energia Digestível
- NDT = Nutrientes Digestíveis Totais

FONTE: Mendes, 2015

No cenário produtivo do gado em sistema de confinamento em pastagem foi utilizada a unidade funcional já proposta pelo dataset Ecoinvent 3.10.1: beef cattle production on pasture and feedlot | cattle for slaughtering, live weight | cutoff, U – BR, o qual traz a produção intensiva de 1 kg de peso vivo de bovinos de corte.

Fluxo de referência

O valor que cada nutrição possui para suprir o gado, tanto na disponibilidade energética quanto na capacidade de absorção de energia foi o conceito norteador para análise de ciclo de vida.

Cada nutrição tem a capacidade de geração distinta. Por esse motivo utilizou-se como parâmetro a capacidade que cada nutrição teve em proporcionar energia digestível ao animal considerando 1 kg de cada no inventário de ciclo de vida.

Nas tabelas 8 e 11, inseridas no capítulo Sistema produtivo do gado a pasto em confinamento, estão expressos os itens de cada nutrição, sua representatividade, nutrientes digestíveis e energia digestível.

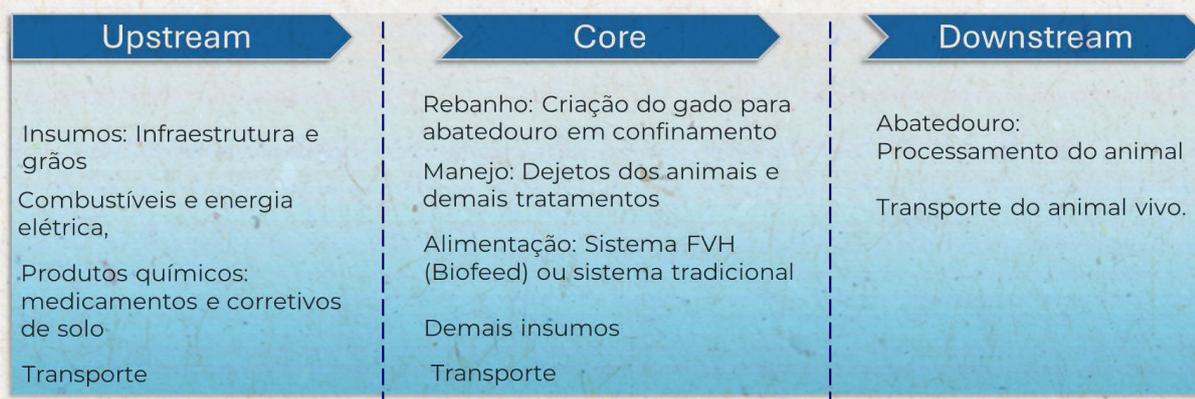
Sistema abordado para o produto

O limite do sistema para este estudo vai do berço ao abatedouro. Essa abordagem foi escolhida pelo fato de o produto da BioFeed ser adotado na fase de cria e engorda do animal.

O mesmo sistema se aplica no processo produtivo do gado a pasto em confinamento, em ambos os cenários nutricionais. No entanto, o limite e a fronteira de cada sistema produtivo se diferenciam no quesito de nutrição e manejo do solo.

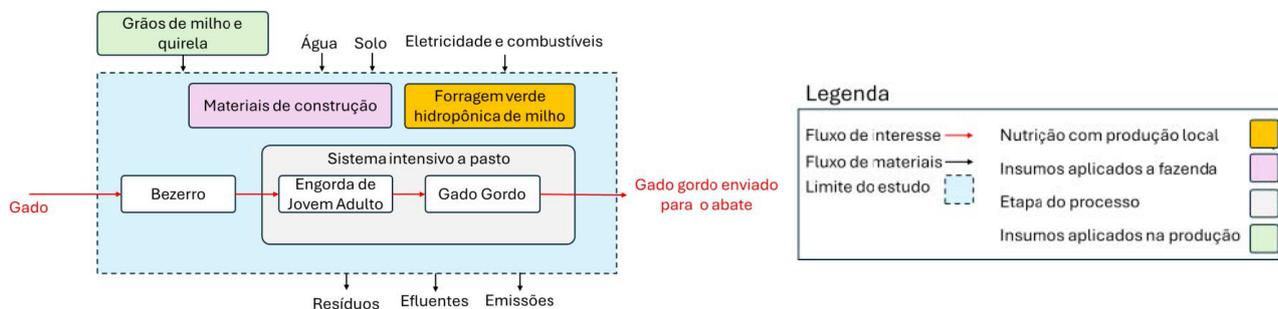
Para o estudo, utilizou-se as premissas de inventário de ciclo de vida, proporções e limites do sistema produtivo correlato ao dataset Ecoinvent 3.10.1: beef cattle production on pasture and feedlot | cattle for slaughtering, live weight | cutoff, U – BR.

FIGURA 7 – Limite dos sistemas avaliados em ambos os estudos



FONTE: próprio autor

FIGURA 8 – Limites e fronteiras da produção do gado de corte com alimentação FVH (cenário BioFeed)



FONTE: próprio autor

FIGURA 8 – Limites e fronteiras da produção do gado de corte com alimentação FVH (cenário BioFeed)



FONTE: próprio autor

O detalhamento de cada etapa do sistema é abordado nos tópicos de síntese das informações do produto e ao longo da análise de ciclo de vida.

Representatividade temporal

A representatividade deste estudo será de 5 anos (ABNT), e os dados coletados são referentes a 2024. Entretanto, no decorrer desse período pode haver a entrada de novos processos, tecnologias e materiais na operação, o que afetaria os resultados. De qualquer forma, a definição temporal da representatividade segue padrões estabelecidos.

Síntese das informações do produto

A etapa de descrição dos objetos de estudo das ACVs está resumida a seguir nas tabelas 3, 4 e 5.

TABELA 3 – Síntese das informações da forragem verde hidropônica

Categoria	Quantidade
Unidade funcional	1 kg de forragem hidropônica verde com grão de milho
Banco de dados e software utilizados	Software OpenLCA 2.4, Ecoinvent versão 3.10.1
Limites do sistema	Berço ao portão – Cradle-to-gate
Limite geográfico	Brasil – regiões do Distrito Federal, Goiânia e Minas Gerais
Descrição do sistema	<p>O dataset em questão documenta a produção anual de forragem verde hidropônica (FVH) no Distrito Federal, especificamente em um sistema de cultivo protegido realizado em estufa fechada com estrutura de lona. Esse método utiliza sementes de milho como base para a produção de forragem, destinada à nutrição de gado adulto em confinamento para abate. O sistema opera com recirculação de água, garantindo eficiência no uso de recursos hídricos, e alcança uma produção anual de 124,8 toneladas de forragem. O horizonte temporal analisado abrange um ano completo, permitindo uma avaliação detalhada do ciclo produtivo, incluindo variações sazonais e eficiência operacional.</p> <p>A produção é registrada mensalmente, fornecendo dados sobre volume, consumo de água, insumos utilizados e custos operacionais. O consumo hídrico é monitorado, considerando tanto a recirculação quanto perdas por evaporação, enquanto os insumos incluem sementes de milho, substratos e suplementos. Os custos envolvem despesas com energia elétrica, mão de obra, manutenção e outros gastos relacionados à operação do sistema. Além disso, o dataset contém informações sobre a qualidade nutricional da forragem, como teores de proteína bruta, fibra e umidade, obtidos por meio de análises laboratoriais periódicas.</p> <p>O sistema hidropônico apresenta vantagens significativas, como menor dependência de condições climáticas e do solo, redução no uso de agrotóxicos e maior controle sobre o crescimento da forragem. Métricas como taxa de conversão de sementes em biomassa e tempo médio de crescimento são incluídas para avaliação de eficiência. Esses dados permitem comparações com métodos tradicionais de produção de forragem, além de facilitar estudos sobre sustentabilidade hídrica e energética em sistemas agrícolas.</p>
Representatividade temporal	O período foi 2024 e abrangeu os 12 meses integralmente
Etapas excluídas	Coprodutos da operação; Manutenção e reparo de equipamentos Final da vida do produto

FONTE: próprio autor

TABELA 4 – Síntese das informações da produção do gado a pasto confinado com nutrição tradicional

Categoria	Quantidade
Unidade funcional	Produção intensiva de 1 kg de peso vivo de bovinos de corte com nutrição tradicional
Banco de dados e software utilizados	Software OpenLCA 2.4, Ecoinvent versão 3.10.1
Limites do sistema	Berço ao abatedouro
Limite geográfico	Brasil – regiões do Distrito Federal, Goiânia e Minas Gerais
Descrição do sistema	<p>Bovinos descartados (tours e vacas de descarte) são considerados parte do produto. Vacas de descarte são substituídas por algumas das novilhas desmamadas; todas as outras novilhas desmamadas são vendidas para engorda em outros sistemas e são consideradas coprodutos.</p> <p>O conjunto de dados inclui operações de manutenção e replantio das pastagens. Cercas são a única infraestrutura incluída. Sementes de gramíneas não estão incluídas (representam menos de 3% da massa do produto).</p> <p>A produção de touros jovens para reprodução não está incluída pelo mesmo motivo, mas suas emissões na fazenda e seu peso vivo como produto são considerados. Emissões diretas no campo estão incluídas, com importantes regionalizações aplicadas. O esterco da fazenda, utilizado como fertilizante orgânico, é considerado apenas em termos de emissões diretas no campo.</p>
Representatividade temporal	O período foi 2006 a 2023. Informações estipuladas no dataset originário
Etapas excluídas	<p>Coprodutos da operação</p> <p>Manutenção e reparo de equipamentos</p> <p>Etapa de uso do produto</p> <p>Final da vida do produto</p>

TABELA 5 – Síntese das informações da produção do gado a pasto confinado com nutrição FHV

Categoria	Quantidade
Unidade funcional	Produção intensiva de 1 kg de peso vivo de bovinos de corte com FVH da BioFeed
Banco de dados e software utilizados	Software OpenLCA 2.4, Ecoinvent versão 3.10.1
Limites do sistema	Berço ao abatedouro
Limite geográfico	Brasil – regiões do Distrito Federal, Goiânia e Minas Gerais
Descrição do sistema	<p>Bovinos descartados (tours e vacas de descarte) são considerados parte do produto. Vacas de descarte são substituídas por algumas das novilhas desmamadas; todas as outras novilhas desmamadas são vendidas para engorda em outros sistemas e são consideradas coprodutos.</p> <p>Cercas são a única infraestrutura incluída. Sementes de gramíneas não estão incluídas (representam menos de 3% da massa do produto).</p> <p>A produção de touros jovens para reprodução não está incluída pelo mesmo motivo, mas suas emissões na fazenda e seu peso vivo como produto são considerados. Emissões diretas no campo estão incluídas, com importantes regionalizações aplicadas. O esterco da fazenda, utilizado como fertilizante orgânico, é considerado apenas em termos de emissões diretas no campo.</p>
Representatividade temporal	O período foi 2006 a 2023. Informações estipuladas no dataset originário
Etapas excluídas	<p>Coprodutos da operação</p> <p>Manutenção e reparo de equipamentos</p> <p>Etapa de uso do produto</p> <p>Final da vida do produto</p>

Análise do inventário de ciclo de vida

O inventário de ciclo de vida deste estudo foi composto por dados primários e secundários. No caso dos dados primários, fornecidos pela própria BioFeed, elencou-se todos os equipamentos empregados na estruturação e operacionalização da estufa – o inventário completo pode ser conferido na seção Anexos.

Quanto aos dados secundários, são oriundos do dataset greenhouse construction, plastic walls and roof, metal tubes | greenhouse, plastic walls and roof | cutoff, U – Row , tendo sido considerados para o processo de saída dos limites do sistema.

No processo produtivo os valores utilizados foram dados secundários do dataset-base para ambos os estudos. Nos anexos temos os itens empregados no dataset. Os dados primários alterados foram as dietas nutricionais, para ambos, e cada cenário teve sua alteração específica.

Ambos os inventários estão detalhados abaixo.

Insumos para a forragem hidropônica verde

Neste estudo foi considerado o processo de produção da forragem hidropônica verde no formato implementado como sistema-piloto. A obra contempla pequenos movimentos de terra, infraestrutura, alvenarias, sistema de abastecimento de água, instalações elétricas, hidrossanitárias, pluviais, cobertura, revestimentos, pintura e complementos.

O sistema consiste em uma estufa climatizada a campo. A BioFeed possui um memorial descritivo e um inventário de materiais utilizados para a confecção da estufa produtiva de forragem hidropônica.

Nos anexos estão demonstradas a quantidade com a capacidade de produção semanal de 2,4 toneladas de forragem hidropônica, considerando o uso de 8 racks com 10 prateleiras com o grão de milho.

Na Tabela 6 temos uma dimensão de itens necessários, dentre as diferentes categorias, para a estruturação de uma operação de forragem hidropônica. Nos anexos temos a lista completa de itens.

TABELA 6 – Total de itens de cada categoria de material empregado na edificação e operação da produção da forragem hidropônica.

Categoria	Quantidade	Mensuração
Elétrico	9.856	Itens
Eletrônico	676	Itens
Estrutura	4.036	Itens
Hidráulico	7.380	Itens
Kit externo	536	Itens
Material complementar	20	Itens
Grãos	480	Kg
Energia elétrica	2.9172	KWh
Água	3.999,98	Litros

FONTE: próprio autor

O memorial descritivo apresentou as etapas da edificação da estufa, no entanto, os itens e processos empregados na construção da estrutura não foram considerados na análise de ciclo de vida.

Cada um dos itens discriminados na tabela 18, nos anexos, teve seu peso unitário identificado e a quantidade total de itens empregados para operação da estufa.

A partir disso, obteve-se o peso total necessário do item no desenvolvimento do processo produtivo da forragem hidropônica verde.

Eq. 3 – Cálculo do peso integral por item utilizado na contabilização no inventário de ciclo de vida:

$$Pt = Qtd.produtos \times Pu$$

- Pt = Peso total
- Qtd.produto = Quantidade de produto utilizado
- Pu = Peso unitário

FONTE: próprio autor

A unidade funcional do estudo foi 1 kg de forragem hidropônica verde com grãos de milho, no horizonte temporal de um ano.

Dessa forma, foi feito o processo de alocação do peso do material pelo total de forragem hidropônica produzida ao longo de um ano para ter a proporcionalidade de cada item empregado na produção.

Os valores totais em diferentes unidades de medida obtidos para cada categoria de materiais seguem conforme Tabela 7 abaixo.

TABELA 7 – Total de itens por peso utilizados na produção da forragem hidropônica

Categoria	Valor	Unidade	Unidade
Elétrico	2,01	ton	7,1%
Eletrônico	0,02	ton	0,1%
Estrutura	1,17	ton	4,1%
Grãos	24,96	ton	87,6%
Hidráulico	0,13	ton	0,5%
Kit externo*	0,18	ton	0,6%
Material complementar	0,00	ton	0,0%
Energia elétrica	29.172,00	KWh	--
Água	3.999,98	Litros	--

FONTE: próprio autor

*Nota: além de peso em kg, alguns itens dessa categoria foram alocados no inventário como item unitário

Esses valores foram diluídos pelo total de produção de forragem hidropônica ao longo de um ano. Então a alocação de cada categoria se deu pela divisão do total mensurado da categoria pelo total produzido em tonelada.

O intuito é ter a proporção de material empregado para a produção de 1 kg de forragem verde hidropônica.

Sistema produtivo do gado a pasto em confinamento

Fermentação entérica e dejetos

Cada um dos processos produtivos do gado a pasto em confinamento teve a sua dieta com as proporções de interesse comparativo. Isso interferiu nos valores de datasets tanto de entrada quanto de saída do sistema estudado. A fermentação entérica e a geração de dejetos são afetadas mediante a dieta que o animal recebe. No cenário comparativo, a composição da nutrição animal é descrita na Tabela 8.

TABELA 8 – Composição da nutrição animal do cenário comparativo de criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo

Composição da nutrição		
80% milho	15% farelo de soja	~5% sal, ureia e matéria seca
Resultando em		
Nutrientes Digestíveis Totais (NDT)		58,65%
Energia Digestível (ED) disponível em kcal/kgMS		3.677,95

O cenário considera 1 kg de ração no cocho para o gado. Os dejetos são descartados a pasto. Foi considerado o manejo do pasto com uso de defensivo agrícola e um pequeno consumo da pastagem pelo animal, algo inferior a 5% de sua alimentação principal. Os valores de NDT e ED foram empregados nos cálculos de emissão de metano, dejetos e fermentação entérica descritos pelo IPCC no capítulo 10 (Emissions from livestock and manure management) (IPCC, 2019). A seguinte equação foi empregada:

Eq.4 – Fator de emissão de metano por fermentação entérica

$$EF = \frac{GE \times \left(\frac{Ym}{100}\right) \times 365}{55,65}$$

- EF = fator de emissão de metano entérico, em kg CH₄
- GE = ingestão de energia bruta, em MJ por cabeça por dia
- Ym = fator de conversão de metano, ou seja, a porcentagem da energia bruta convertida em metano
- 365 = número de dias no ano analisado (para converter de diário para anual)
- 100 = para converter Ym de porcentagem para fração
- 55,65 MJ/kg CH₄ = conteúdo energético do metano (valor fixo)

FONTE: IPCC, 2019, cp. 10

O resultado está na tabela abaixo. A emissão de metano é determinada pela dieta fornecida ao animal (Owens e Goetsch, 1993).

TABELA 9 – Resultado de emissão de fermentação entérica em kgCH4

Resultado da equação	
Fermentação entérica em kgCH4	0,306

FONTE: próprio autor

A partir desse resultado, foi feito o cálculo para as emissões de dejetos. Nessa operação também se utilizou o capítulo 10 do IPCC (2019). Para conhecer os valores de emissão por dejetos foi necessário obter o valor da taxa de ingestão de nitrogênio do animal (Eq.5); na sequência, calcular a taxa de excreção anual de nitrogênio (Eq.6) e, com esses valores, obter o valor de emissões diretas de N2O decorrente do manejo de dejetos.

Eq.5 – Taxa de ingestão de nitrogênio para bovinos

$$Nintake(T) = \frac{GE}{18,45} \times \frac{CPin \times 100}{6,25}$$

- Nintake (T) = ingestão diária de nitrogênio por animal da categoria T, em kg N animal⁻¹ dia⁻¹
- GE = ingestão de energia bruta do animal, considerando energia total (digestível, produção de leite, crescimento, idade, peso etc.), em MJ animal⁻¹ dia⁻¹
- 18,45 = fator de conversão de GE dietética para matéria seca, em MJ kg⁻¹ (constante para diversas dietas de ruminantes)
- CP_n = teor de proteína bruta na dieta (em %)
- 6,25 = fator de conversão de proteína bruta para nitrogênio (kg proteína/kg N)

FONTE: IPCC, 2019, cp. 10

Eq.6 – Taxas anuais de excreção de nitrogênio (Tier 2)

$$Nex(T) = Nintake(T) \times (1 - Nretention_frac(T)) \times 365$$

- Nex(T) = excreção anual de nitrogênio, em kg N animal⁻¹ ano⁻¹
- Nintake(T) = ingestão diária de nitrogênio por animal da categoria T, em kg N animal⁻¹ dia⁻¹
- Nretention_frac(T) = fração do nitrogênio ingerido que é retida pelo animal (sem unidade)
- 365 = número de dias avaliados no ano (conversão de diário para anual)

FONTE: IPCC, 2019, cp. 10

Eq.7 – Emissões diretas de N₂O da gestão de dejetos

$$N2OD(mm) = [T \sum (NT \times Nex(T) \times MS(T,S) \times EF3(S))] \times \frac{28}{44}$$

- N2Od(mm) = emissões diretas de N₂O da gestão de esterco, em kgN₂O/ano
- NT = número de animais da espécie ou categoria T
- Nex(T) = excreção anual de nitrogênio por animal da categoria T, em kg N/animal.ano
- MS(t,s) = fração do nitrogênio excretado pela categoria T, que é manejada no sistema de esterco S (sem unidade)
- EF3(S) = fator de emissão para emissões diretas de N₂O do sistema de esterco S, em kg N₂O-N/kg N = dado utilizado da tabela 10.21 do IPCC.
- 44/28 = fator de conversão de N₂O-N para N₂O (com base na massa molar)

FONTE: IPCC, 2019, cap. 10

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela abaixo

TABELA 10 – Resultado de emissão de dejetos em kgN₂O

Categoria	
Ingestão diária de nitrogênio por animal da categoria T, em kg N/animal.dia	0,321
Excreção anual de nitrogênio, em kgN/animal.ano	109,049
Emissões diretas de N ₂ O da gestão de dejetos em kgN ₂ O	0,00377

FONTE: próprio autor

Os mesmos cálculos foram empregados para o cenário do gado a pasto em confinamento com o uso da FVH. Na tabela abaixo temos o descritivo nutricional empregado para o cálculo.

Composição da nutrição		
70% FVH de milho	26% quirela de milho	4% silagem de milho
Resultando em		
Nutrientes Digestíveis Totais (NDT)		74,05%
Energia Digestível (ED) disponível em kcal/kgMS		3.299,83
Volume da ração		1 kg

FONTE: próprio autor

Foram utilizadas as mesmas equações descritas acima para a obtenção dos valores de emissão de fermentação entérica e de dejetos, e o resultado está diretamente relacionado aos dados da Tabela 12.

TABELA 12 – Resultado de emissão da fermentação entérica em kgCH₄/dia e dejetos em kgN₂O/ano

Resultado da equação	
Fermentação entérica em kgCH ₄	0,275
Ingestão diária de nitrogênio por animal da categoria T, em kg N/animal/dia	0,158
Excreção anual de nitrogênio, em kgN/animal/ano	53,547
Emissões diretas de N ₂ O da gestão de dejetos em kgN ₂ O	0,00184

FONTE: próprio autor

Para ambos os cenários foi considerada a nutrição de um animal apenas com os valores correlatos entre as dietas, visto que a unidade funcional empregada no estudo do gado a pasto em confinamento é a produção intensiva de 1 kg de peso vivo de bovinos de corte.

Local de produção

Para o inventário de ciclo de vida dos cenários produtivos se utilizou os itens elencados no dataset: beef cattle production on pasture and feedlot | cattle for slaughtering, live weight | cutoff, U – BR. O descritivo completo do inventário de ciclo de vida desse dataset está nos itens em anexo. As alterações feitas para ambos os cenários de estudo foram a regionalização de alguns itens, apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida de ambos os datasets do estudo

Item	Fluxo	Unidade
Entrada	Uso do solo	Regionalização para a região (DF, GO, MG)
Entrada	Milho – primeira e segunda safra	Regionalização para a região (DF, GO, MG)
Entrada	Silagem de milho	Regionalização para a região (DF, GO, MG)
Entrada	Toras de madeira	Tropicalização do combustível utilizado no dataset

FONTE: próprio autor

As alterações específicas para o cenário comparativo em relação ao dataset-base estão na Tabela 14.

TABELA 14 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida do cenário comparativo de criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo

Item	Fluxo	Alteração feita
Entrada	Fertilizante	Tropicalização do combustível utilizado no dataset
Entrada	Farelo de soja	Alteração no valor total considerado na nutrição
Entrada	Suplemento mineral	Alteração no valor total considerado na nutrição
Entrada	Milho – primeira e segunda safra	Alteração no valor total considerado na nutrição
Saída	Fermentação entérica	Alteração no valor total considerado na nutrição
Saída	Dejetos	Alteração no valor total considerado na nutrição

FONTE: próprio autor

Por fim, as alterações específicas para o cenário da produção utilizando o FVH estão na Tabela 15.

TABELA 15 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo

Item	Fluxo	Alteração feita
Entrada	Uso do solo	Alteração no valor total considerado na estufa
Entrada	Farelo de soja	Remoção
Entrada	Milho	Remoção
Entrada	Defensivos agrícolas	Remoção
Entrada	Forragem hidropônica verde	Remoção
Entrada	Quirela de milho	Remoção
Entrada	Silagem de milho	Alteração no valor total considerado no estudo. Nutrição
Saída	Fermentação entérica	Alteração no valor total considerado no estudo. Nutrição
Saída	Dejetos	Alteração no valor total considerado no estudo. Nutrição

Interpretação de resultados

Foram avaliadas nesse estudo três pegadas de carbono. Uma pegada em relação à produção da forragem hidropônica verde e outras duas relacionadas à criação e engorda do gado a pasto em sistema intensivo. A produção em sistema de estufa gerou um valor de pegada de carbono de 2,676 kg de CO₂ equivalente. Para cada um dos itens foram identificados fatores de emissão já disponíveis no banco de dados Ecoinvent 3.10.

Houve uma adaptação de parte desses fatores que compuseram o inventário de ciclo de vida da estrutura da estufa. As adaptações ocorreram principalmente na energia elétrica, combustíveis e modal de transporte, os quais foram tropicalizados. O quantitativo de cada item em relação ao total de milho produzido também foi considerado para a inventariação.

Os itens com maior peso na pegada estão atrelados à lona vinílica utilizada e aos materiais metálicos, representando 80% de toda a pegada de carbono. Os demais itens que compõe a pegada representam juntos apenas 5%. Na seção de anexos temos o impacto em emissões de kgCO₂eq por dataset selecionado em relação a cada item.

TABELA 16 – Emissões em kg de CO₂eq por categoria de itens utilizados na produção da FVH e sua representatividade

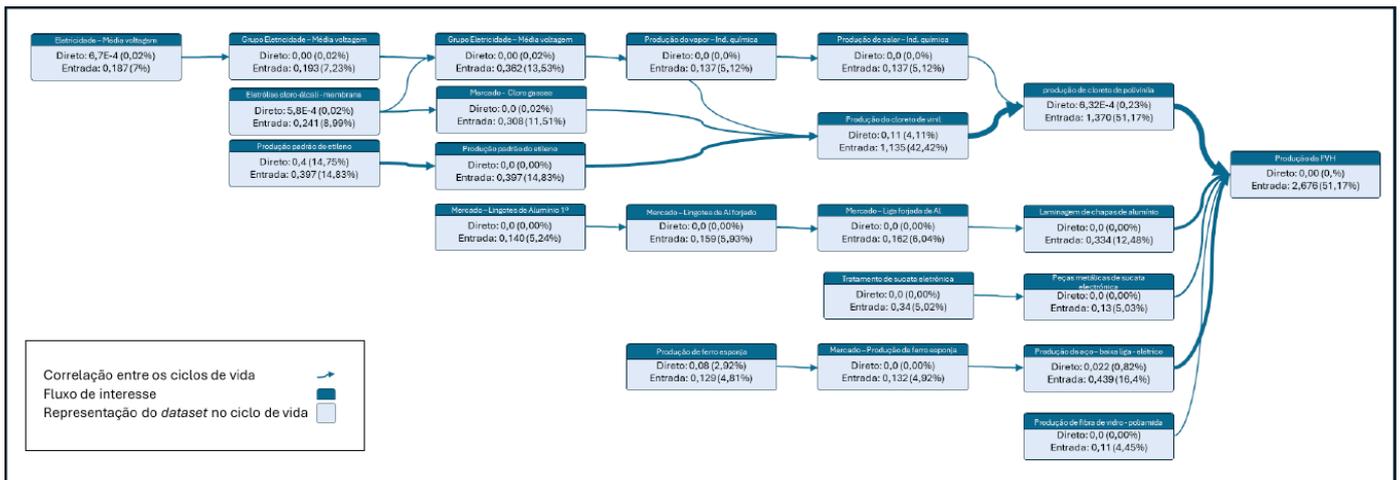
Categoria	KgCO₂eq	Representatividade
Materiais de construção	2,553	95,38%
Grãos	0,074	2,77%
Equipamentos	0,019	0,70%
Energia elétrica	0,018	0,68%
Transformação	0,011	0,41%
Água	0,001	0,02%
Solo	0,000023	0,00%

FONTE: próprio autor

Nos diagramas de Sankey (Figura 9, 10 e 11) temos a proporcionalidade das emissões decorrentes da cadeia produtiva, os valores dos itens mais representativos e o seu impacto no valor final. Em relação a produção da FVH, vemos que a lona vinílica tem maior impacto no ciclo de vida da estufa de produção, enquanto outras emissões relevantes são oriundas dos materiais metálicos.

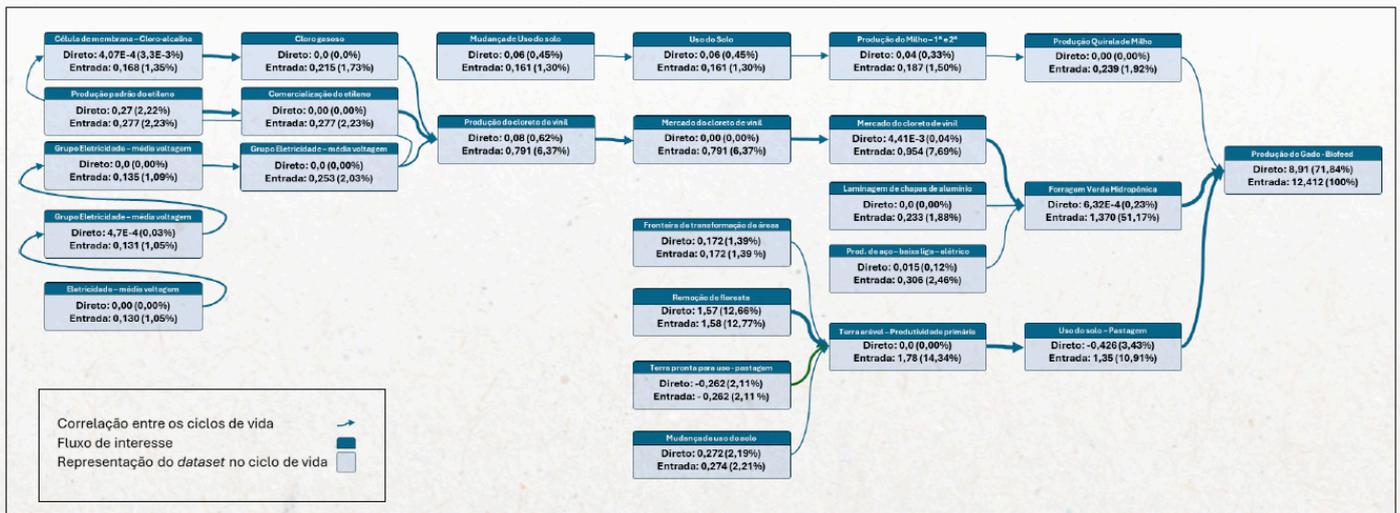
Já no cenário da produção do Gado, independente do sistema, os impactos principais são decorrentes do uso do solo e fermentação entérica, visto que a mudança de uso do solo no Brasil tem uma fronteira temporal menor que 20 anos, dependendo da região. Para o sistema de produção padrão temos outras emissões indiretas preponderantes, que estão relacionadas a aditivos aplicados em solo.

FIGURA 9 – Diagrama de Sankey da produção da Forragem Verde Hidropônica



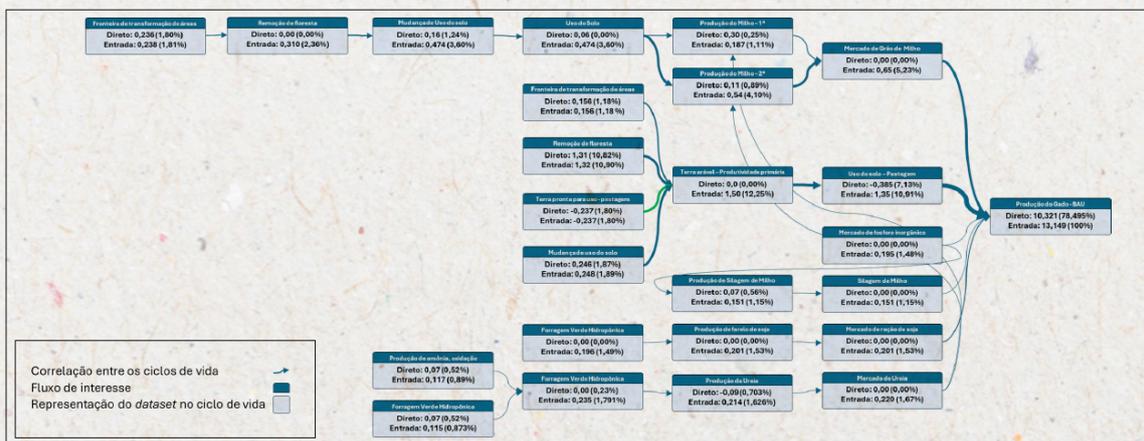
FONTE: próprio autor

FIGURA 10 – Diagrama de Sankey da produção do Gado a pasto em sistema intensivo com dieta nutricional com FVH



FONTE: próprio autor

FIGURA II – Diagrama de Sankey da produção do Gado a pasto em sistema intensivo com dieta nutricional padrão



FONTE: próprio autor

Ao avaliar que o estudo foi feito pensando na produção da forragem hidropônica no cenário de 1 ano, e no volume produzido nesse período, é preciso também levar em conta que as emissões decorrentes dos componentes se diluem ao longo do tempo. Então, um estudo complementar da operacionalização, com manutenções e trocas de materiais numa fronteira temporal maior pode aprimorar a avaliação dos itens da pegada de carbono.

Para os cenários de produção do gado, na Tabela 17 temos os dados das duas pegadas de carbono. A principal diferença está na emissão decorrente da fermentação entérica e manejo de dejetos. Outras diferenças nas emissões são a alimentação dos animais e o uso de produtos químicos.

A dieta nutricional no cenário com FVH tem uma pegada de carbono duas vezes maior do que no cenário sem a estrutura de estufa. A FVH carrega o impacto de sua pegada de carbono no sistema produtivo, no entanto, a pegada foi elaborada pensando em um ano apenas de produção da forragem hidropônica. Outro benefício identificado nesta dieta nutricional é que a ausência de produtos químicos elimina a necessidade de manejo no pasto.

TABELA 17 – Emissões em kg de CO2 equivalente dos cenários de engorda e produção do gado em confinamento e sistema intensivo Cenário Comparativo

Cenário Comparativo			Cenário com FVH		
Categoria	KgCO2eq	Representatividade	Categoria	KgCO2eq	Representatividade
Total	13,171	100%	Total	12,412	100%
Fermentação	8,725	66,35%	Fermentação	7,853	60,94%
Dejetos	1,217	9,26%	Dejetos	0,579	4,49%
Solo	2,189	16,65%	Solo	1,979	15,35%
Alimentação	1,112	8,46%	Alimentação	2,143	16,63%
Produtos Químicos	0,183	1,39%	Produtos Químicos	0,000	0,0000%
Materiais de construção	0,001	0,01%	Materiais de construção	0,0003	0,002%
			Demais emissões	0,332	2,57%

FONTE: próprio autor

Resultados e Discussão

Este estudo de Avaliação de Ciclo de Vida comparou dois sistemas de nutrição aplicados à produção de bovinos em confinamento: o modelo padrão, baseado em grãos (milho, soja, farelos), e o modelo alternativo, incorporando a Forragem Verde Hidropônica (FVH) cultivada em sistema de estufa.

Os resultados indicam que a introdução da FVH na dieta, associada à silagem, quirela de milho, representa uma pegada de carbono menor, com redução de 5,7% na emissão total de GEE por kg de peso vivo produzido (de 13,17 para 12,41 kg CO₂eq/kg de peso vivo).

Essa redução tem relevância quando projetada para o volume total de animais confinados por ciclo, representando potenciais ganhos expressivos em emissões evitadas.

Além disso, o sistema FVH apresenta benefícios adicionais não mensurados diretamente em relação a potencial de aquecimento global, como:

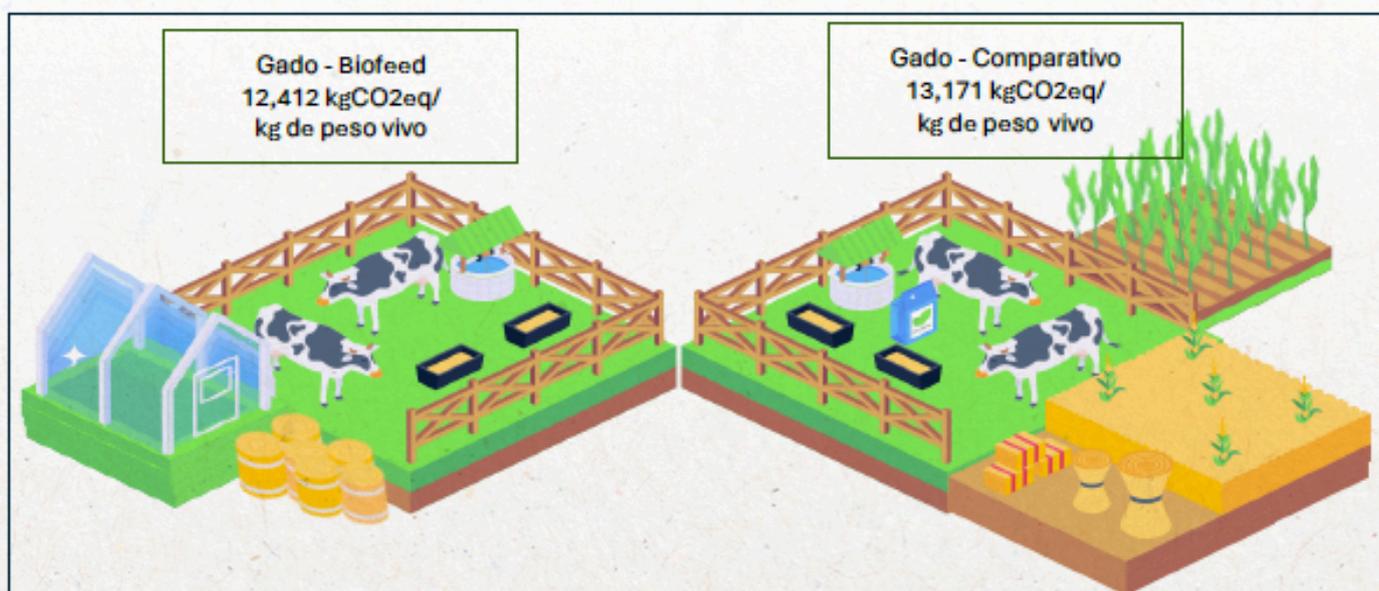
- Menor pressão sobre áreas agrícolas dedicadas à monocultura de grãos;
- Ausência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos no cultivo da forragem;
- Resiliência hídrica e alimentar, com menor dependência de clima e logística externa;
- Estabilidade nutricional da dieta animal, com controle de qualidade na base.

Sob a ótica operacional, o sistema FVH permite reduzir etapas logísticas, substituindo parcialmente insumos que exigem transporte de longas distâncias. Isso também implica potencial de redução de custos indiretos e maior autonomia produtiva, especialmente em cenários de escassez ou encarecimento de insumos agrícolas.

Do ponto de vista regulatório e de mercado, o modelo favorece a conformidade com metas de descarbonização e certificações ambientais, o que pode posicionar a empresa de forma diferenciada em mercados com exigências socioambientais rigorosas, como a União Europeia e países do norte global.

Portanto, a incorporação da FVH se mostra tecnicamente viável, ambientalmente vantajosa e estrategicamente coerente com as tendências de uma pecuária mais sustentável, sendo recomendável o aprofundamento de estudos técnico-econômicos para modelagem de escalabilidade, além da medição de outros impactos (uso da terra, eutrofização, demanda energética).

Abaixo, temos uma imagem ilustrativa sobre os resultados globais de cada um dos cenários produtivos



FONTE: próprio autor

Estatísticas

Para todos os cenários de ciclo de vida trabalhados foi utilizada a ferramenta de verificação estatística de Monte Carlo do OpenLCA 2.4. Este processo apoia a verificação da acurácia dos dados, orientando a análise dos desvios e incertezas que afetam a qualidade do estudo.

Para todos os processos considerou-se o cenário de Monte Carlo com 100 repetições para a pegada de carbono, tomando por base o IPCC 2013 para Potencial de Aquecimento Global na fronteira temporal de 100.

Sistema de produção da forragem hidropônica verde

Os valores obtidos estão na Tabela 15. Esse resultado é oriundo da refinação e tropicalização dos datasets. Na Figura 10 temos o resultado extraído diretamente da ferramenta OpenLCA 2.4.

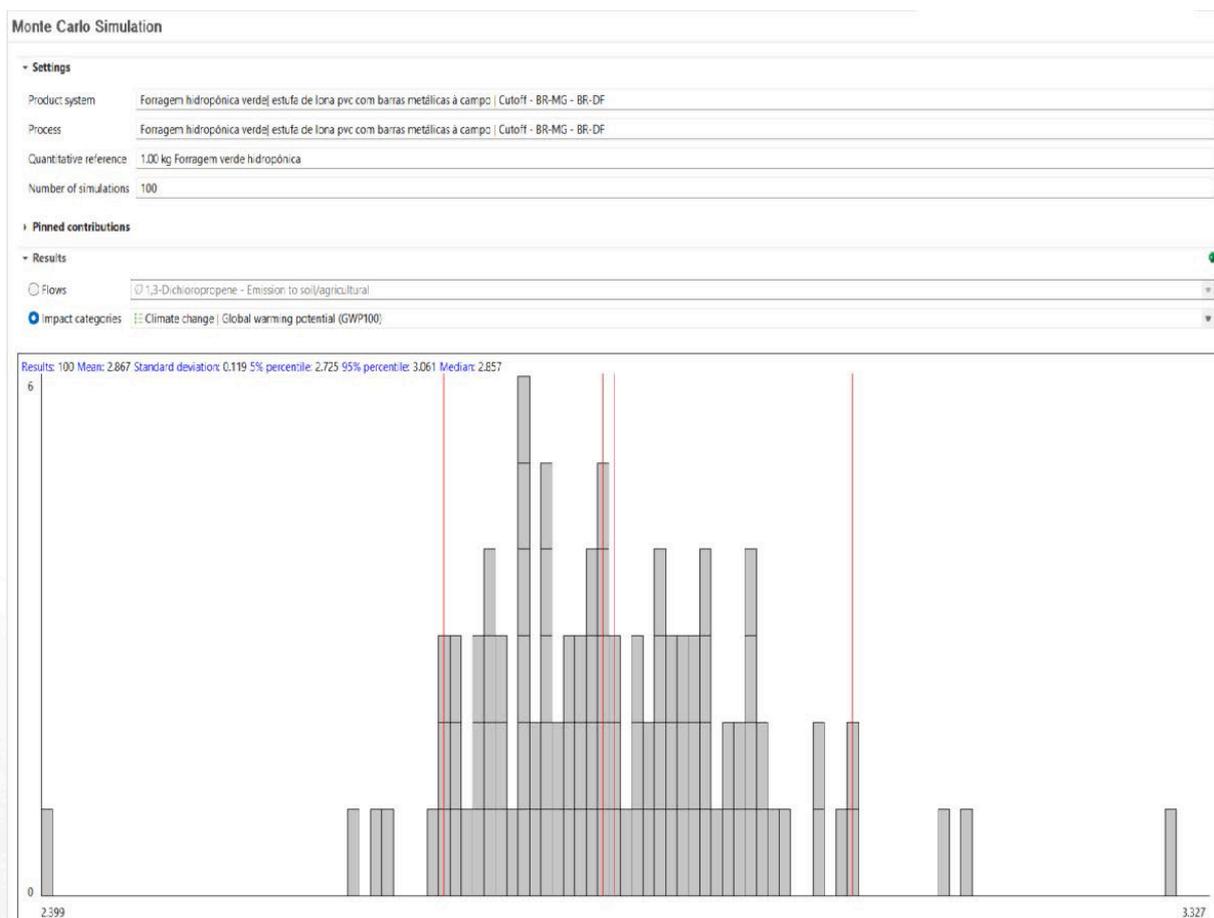
Pelo valor de desvio-padrão, a baixa dispersão sugere que o modelo é pouco sensível. O resultado de pegada de carbono é quase 10% menor que a média.

TABELA 15 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo

Parâmetros	Resultado
Verificações	100
Média	2,867
Mediana	2,857
Desvio-padrão	0,119
5% Percentil	2,725
95% Percentil	3,061
Pegada de carbono em kgCO ₂ eq	2,676

FONTE: próprio autor

FIGURA 14 – Estatística de Monte Carlo para o sistema de produção da FVH



Criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo com uso de FVH

Os valores obtidos estão na Tabela 16. Esse resultado é oriundo da refinação e tropicalização dos datasets. Na Figura 11 temos o resultado extraído diretamente da ferramenta OpenLCA 2.4.

TABELA 16 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo

Parâmetros	Resultado
Verificações	100
Média	21,414
Mediana	21,334
Desvio-padrão	1,266
5% Percentil	19,636
95% Percentil	23,641
Pegada de carbono em kgCO ₂ eq	12,886

FONTE: próprio autor

FIGURA 15 – Estatística de Monte Carlo para a criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo com o uso de FVH

Monte Carlo Simulation



Criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo comparativo

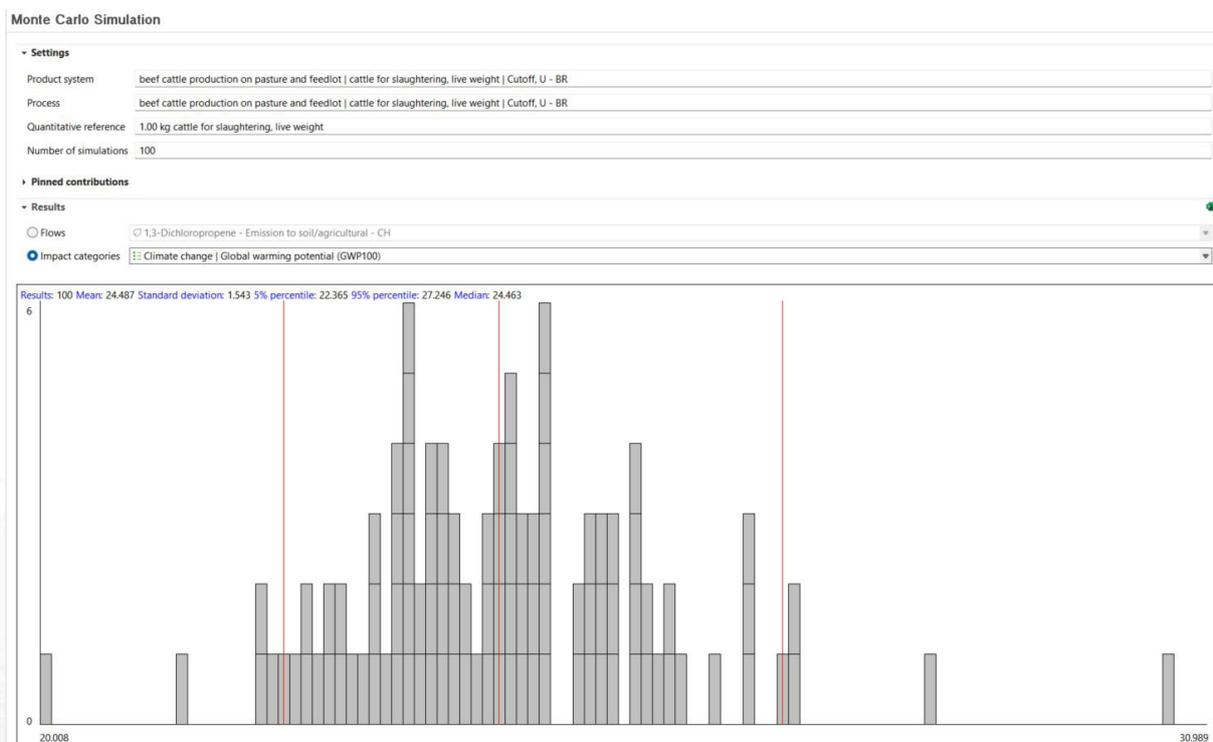
Os valores obtidos estão na Tabela 17. Esse resultado é oriundo do refinamento e tropicalização dos datasets. Na Figura 12, temos o resultado extraído diretamente da ferramenta OpenLCA 2.4.

TABELA 17 – Alteração empregada no inventário de ciclo de vida dos datasets de estudo

Parâmetros	Resultado
Verificações	100
Média	24,487
Mediana	24,463
Desvio-padrão	1,543
5% Percentil	22,365
95% Percentil	27,246
Pegada de carbono em kgCO2eq	13,171

FONTE: próprio autor

FIGURA 16 – Estatística de Monte Carlo para a criação e engorda do gado de corte em sistema intensivo comparativo



FONTE: próprio autor

Referências bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2001. (NBR ISO 14040).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – Requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 2001. (NBR ISO 14044).

ALEM, Gabriela et al. Compras sustentáveis & grandes eventos: a avaliação do ciclo de vida como ferramenta para decisões de consumo. São Paulo: Programa Gestão Pública e Cidadania, 2015. 136 p.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceira Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, 2016. v. 1, 144 p.

BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, C. E. P. (ed.). Carbon sequestration in soils of Latin America. Londres: CRC Press, 2006. p. 285–304.

CETEA – CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM. Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

CMU – CARNEGIE MELLON UNIVERSITY. EIO-LCA: free, fast, easy life cycle assessment. Pittsburgh: CMU, 2015.

COELHO FILHO, Osmar; SACCARO JUNIOR, Nilo Luiz; LUEDEMANN, Gustavo. A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil. 2016.

GUINÉE, J. B. (ed.). Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Springer, 2002.

HEIJUNGS, R.; SUH, S. The computational structure of life cycle assessment. Dordrecht: Springer, 2002.

INSTITUTO ESCOLHAS. Do pasto ao prato: subsídios e pegada ambiental da carne bovina. São Paulo: Instituto Escolhas, 2020. Disponível em: <https://www.escolhas.org/wp-content/>

Referências bibliográficas

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Instituto Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), capítulo 4: Land use, land-use change and forestry (LULUCF) activities, 2.ª fase (2013–2020).

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), capítulo 10: Emissions from Livestock and Manure Management.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

MEDEIROS, Sérgio Raposo de; GOMES, Rodrigo da Costa; BUNGENSTAB, Davi José (ed.). Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 176 p. ISBN 978-85-7035-419-8.

OWENS, F.N., GOETSCH A.L. Fermentacion ruminal. In: CHURCH, D.C. (Ed.) El rumiante fisiología digestiva y nutricion. Zaragoza: Agríbia, p.159-189, 1993.

PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; COSTA JUNIOR, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. Agricultural Systems, v. 155, p. 126–135, 2017.

UNEP; SETAC. Life cycle management: a business guide to sustainability. Paris, 2007. 51 p.

WERTH, S. J.; ROCHA, A. S.; OLTJEN, J. W. et al. A life cycle assessment of the environmental impacts of cattle feedlot finishing rations. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 26, p. 1779–1793, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01957-3>.

WERTH, S. J.; ROCHA, A. S.; OLTJEN, J. W. et al. A life cycle assessment of the environmental impacts of cattle feedlot finishing rations. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 26, p. 1779–1793, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01957-3>.

TABELA 18 – Total de itens utilizados para a fabricação e produção da forragem verde hidropônica

Nº	Descrição	Categoria	Unidades
1	Conector de emenda WAGO 221 Duplo (6mm)	Elétrico	3.840
2	Luminária de zinco	Elétrico	640
3	Canaleta com divisória 10x10x200mm c/ fita	Elétrico	128
4	Braçadeira pequena em aço para lâmpadas T8	Elétrico	2.560
5	Lâmpadas Led tubular 60cm 9W 220Vac (Avant ou Rian)	Elétrico	640
6	Lâmpadas Led tubular 120cm 18W 220Vac (Avant ou Rian)	Elétrico	640
7	Barra aço galvanizado 20x20	Elétrico	108
8	Rolo de fio paralelo 1,5mm	Elétrico	20
9	Soquete rabicho de lâmpada T8	Elétrico	1.280
10	Programador timer Siemens ou similar	Eletrônico	4
11	Rain Bird ESP-RZXe 8 canais	Eletrônico	4
12	Barra de dist. disj. monofásico WEG/Stek 1m (usamos 20cm)	Eletrônico	4
13	Terminal tubular tipo ilhós - 1mm (50pç)	Eletrônico	4
14	Terminal tubular tipo ilhós - 2,5mm (100pç)	Eletrônico	4
15	Terminal tubular tipo ilhós - 6mm (100pç)	Eletrônico	4
16	Terminal tubular tipo ilhós - 1mm (50pç) duplo	Eletrônico	4
17	Relé de contato 24Vac	Eletrônico	20
18	Fusível 20mm 1,5A	Eletrônico	24
19	Barramento azul 12 furos trilho DIN	Eletrônico	4
20	Barramento verde 12 furos trilho DIN	Eletrônico	4
21	Conector de passagem DIN (borne) até 4mm cinza	Eletrônico	40
22	Conector de passagem DIN (borne) até 6mm cinza	Eletrônico	88
23	Braçadeira plástica 14,6cm TR30 (pacote com 50)	Eletrônico	8
24	Medidor energia monofásico Nansen lumen 4md	Eletrônico	4
25	Anilha 0,5 a 6mm - letras - 100pç	Eletrônico	12
26	Anilha 0,5 a 6mm - números de 1 a 9 - 100pç	Eletrônico	12
27	Contator de comando modular com chave 2 polos, 2NA, 220V Exatron	Eletrônico	12
28	Disj. Steck monofásico 32A tipo C	Eletrônico	8
29	Disj. Steck monofásico 40A tipo C	Eletrônico	8
30	Barra de trilho Fix 5x7,5DIN de 1m	Eletrônico	4
31	Conector CP split bold de 10mm ou 16mm	Eletrônico	36
32	Protetor de surto 275V / 30ka	Eletrônico	8
33	Conector para haste de aterr. 5/8	Eletrônico	4
34	Terminal tubular tipo ilhós - 1,5mm (50pç)	Eletrônico	4
35	Terminal tubular tipo ilhós - 1,5mm (50pç) duplo	Eletrônico	4
36	Terminal tubular tipo ilhós - 2,5mm (50pçs) duplo	Eletrônico	4
37	Terminal tubular tipo ilhós - 6mm (50pçs) duplo	Eletrônico	0
38	Conector de passagem DIN (poste terminador preto)	Eletrônico	24
39	Conector porta fusível	Eletrônico	20
40	Chave de comando bloco de contato NA	Eletrônico	132
41	Abraçadeira p/ conduíte 3/4	Eletrônico	60
42	Barra de canaleta aberta 30mm larg x 60mm altura	Eletrônico	4

Nº	Descrição	Categoria	Unidades
43	Botão de comando 3 posições 1-0-2	Eletrônico	28
44	Botão de comando 2 posições 1-0 On/Off	Eletrônico	36
45	Disj. Steck Monofásico 10A Tipo C	Eletrônico	4
46	Disj. Steck Monofásico 16A Tipo C	Eletrônico	20
47	Disj. Steck Monofásico 4A Tipo C	Eletrônico	4
48	Relé temporizador OFF Delay (3s - 1min) Schneider	Eletrônico	4
49	Caixa de montagem 60 x 40 x 20 metais	Eletrônico	4
50	Lonas	Estrutura	1
51	Estrutura completa 9 andares	Estrutura	0
52	Estrutura completa 7 andares	Estrutura	0
53	Montantes completos 3,40m	Estrutura	20
54	Longarinas retas (frente e meio)	Estrutura	320
55	Longarinas inclinadas (fundo)	Estrutura	160
56	Caixa de parafuso autobrocante (500pç) 13mm 4,2x13	Estrutura	8
57	Mão francesa (3 por barra) 12,5 x 12,5cm	Estrutura	480
58	Mão francesa (3 por barra) 5 x 5cm	Estrutura	0
59	Porca sx m 04 ma bc	Estrutura	480
60	Calha de zinco de coleta de água - chapa galvanizada - Lado Esquerdo	Estrutura	80
61	Calha de zinco de coleta de água - chapa galvanizada - Lado Direito	Estrutura	80
62	Bandejas	Estrutura	1.120
63	Duto de queda d'água	Estrutura	8
64	Parafuso máq m 4 x 12 cp ph bc	Estrutura	480
65	braçadeira 3/4 meia lua	Estrutura	480
66	Suporte U para luminária (uzinho)	Estrutura	320
67	Sementes de milho GO	Grãos	240
70	Adaptador roscável 25mm - selenóide	Hidráulico	20
71	Bico gotejador autoespersante 12L/H Pacote 100	Hidráulico	3.360
72	Luva LR PVC 25mm x 1/2	Hidráulico	160
73	Luva LR PVC 32x1 azul	Hidráulico	16
74	Plug roscável 1/2"	Hidráulico	80
75	Registro esfera de União 3/4	Hidráulico	80
76	Adaptador roscável 25mm	Hidráulico	20
77	Válvula Solenoide Rain Bird 100-hvf 1 24VAC	Hidráulico	20
78	Tubo sold PVC 3/4 25mm (Tigre ou Amanco) 6m	Hidráulico	80
79	Joelho soldável PVC 1" (32mm)	Hidráulico	40
80	Joelho soldável PVC 3/4 (25mm)	Hidráulico	0
81	Registro esfera PVC 1" 32mm	Hidráulico	8
82	T 1" saída 3/4 (32mm p/ 25mm)	Hidráulico	24
83	T 3/4 (25mm)	Hidráulico	72
84	Cruzeta (25mm)	Hidráulico	40
85	Chulinha 1/4" Pacote 100	Hidráulico	3.360
86	Consumo de água	Água	2.000 L

Nº	Descrição	Categoria	Unidades
87	Efluentes	Água	1.999,98 L
88	Caixa de inspeção para aterramento	Kit externo	4
89	Espigão 1" adaptador JJ 1" rosca externa	Kit externo	32
90	Manta acrílica perlon de 3 x 1,40m	Kit externo	4
91	Eletroduto PVC - Luva Unidut 3/4 cinza Sold p/ condulete	Kit externo	40
92	Registro de união de 50"	Kit externo	4
93	Válvula retenção sold 32	Kit externo	4
94	Niple roscável 1" branco	Kit externo	48
95	Carvão ativado 5kg	Kit externo	8
96	Bomba centrífuga de 1CV Schneider Bc-9Is 1 CV monofásica 220v	Kit externo	4
97	Bomba periférica de 1 CV Schneider 14000L/h PG-10 1 M 60 220	Kit externo	4
98	Haste aterramento Coop 5/8 2,4m	Kit externo	4
99	Abraçadeira s/fim para mangueira	Kit externo	64
100	Tanque água PVC redonda de 1000L (+/-)	Kit externo	4
101	Tanque de filtragem 200L	Kit externo	4
102	Tanque de filtragem 80L	Kit externo	4
103	Tanque de filtragem 150L	Kit externo	4
104	Espigão 1" joelho interno 1 JOJJJ	Kit externo	32
105	Tanque água PVC redonda de 500L (+/-)	Kit externo	0
106	Elementos filtrante 14.000 L/H filtro modular 100 1.1/2" BSP 130	Kit externo	4
107	Eletroduto PVC - adaptador de tubo 3/4 cinza	Kit externo	24
108	Eletroduto PVC - caixa conduíte 4x2 3/4 cinza	Kit externo	20
109	Eletroduto PVC - curvas 3/4 cinza	Kit externo	24
110	Eletroduto PVC 3/4 cinza	Kit externo	40
111	Eletroduto PVC - tampa caixa conduíte 4x2 3/4 cinza	Kit externo	20
112	Adaptador com flange 1 polegada	Kit externo	44
113	Mangueira 1" azul p/ sucção	Kit externo	60
114	Balde mídia biológica cubos z 2,2l	Kit externo	16
115	Rolo de fio 750 flex 4,0mm azul	Kit externo	8
116	Rolo de fio 750 flex 4,0mm preto	Kit externo	8
117	Bomba centrífuga de 1 CV Schneider 5400L/H mon BCR 2010	Kit externo	1
118	Fita veda rosca	Extra	8
119	PU veda calha cinza	Extra	8
120	Fita isolante 3m	Extra	4
121	Eletricidade	Energia Elétrica	29.172 kWh

FONTE: Dados BioFeed

	Flow	Amount	Unit	Provider
Input	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer	4,81E-03	kg	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer cutoff, U - RoW
Input	activated carbon, granular	8,01E-05	kg	market for activated carbon, granular activated carbon, granular cutoff, U - GLO
Input	compact fluorescent lamp	1,03E-02	Item(s)	ADAPT - compact fluorescent lamp production compact fluorescent lamp cutoff, U - GLO
Input	copper, cathode	3,77E-03	kg	ADAPT - cobalt production copper, cathode cutoff, U - GLO
Input	electricity, low voltage	2,34E-01	kWh	electricity voltage transformation from medium to low voltage electricity, low voltage Consequential, U - BR-Southern grid
Input	electrolyte, copper-rich	2,40E-05	kg	market for electrolyte, copper-rich electrolyte, copper-rich cutoff, U - GLO
Input	extrusion, plastic pipes	4,41E-02	kg	ADAPT - extrusion, plastic pipes extrusion, plastic pipes cutoff, U - RoW
Input	fibre, polyester	6,15E-04	kg	ADAPT - polyester fibre production, finished fibre, polyester cutoff, U - RoW
Input	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded	1,32E-02	kg	glass fibre reinforced plastic production, polyamide, injection moulded glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded cutoff, U - RoW
Input	land use change, pasture, man made	7,13E-05	m2	land use change, pasture, man made land use change, pasture, man made cutoff, U - BR-MG
Input	maize grain	1,00E-01	kg	maize grain production, first crop maize grain cutoff, U - BR-MG
Input	maize grain	1,00E-01	kg	maize grain production, second crop maize grain cutoff, U - BR-MG
Input	metal part of electronics scrap, in copper, anode	9,23E-02	kg	market for metal part of electronics scrap, in copper, anode metal part of electronics scrap, in copper, anode cutoff, U - GLO
Input	nylon 6	1,01E-03	kg	nylon 6 production nylon 6 cutoff, U - RoW
Input	Polycarbonate	1,74E-03	kg	ADAPT - polycarbonate production polycarbonate cutoff, U - RoW
Input	polyethylene, high density, granulate, recycled	2,12E-03	kg	ADAPT - polyethylene production, high density, granulate, recycled polyethylene, high density, granulate, recycled cutoff, U - RoW
Input	polypropylene, granulate	1,26E-02	kg	polypropylene production, granulate polypropylene, granulate cutoff, U - RoW

	Flow	Amount	Unit	Provider
Input	polyurethane, rigid foam	7,53E-05	kg	ADAPT - polyurethane production, rigid foam polyurethane, rigid foam cutoff, U - RoW
Input	polyvinylchloride, suspension polymerised	5,80E-01	kg	ADAPT - polyvinylchloride production, suspension polymerisation polyvinylchloride, suspension polymerised cutoff, U - RoW
Input	reinforcing steel	1,79E-06	kg	reinforcing steel production reinforcing steel cutoff, U - RoW
Input	sheet rolling, aluminium	8,85E-01	kg	ADAPT - sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium cutoff, U - RoW
Input	sheet rolling, steel	2,55E-03	kg	ADAPT - sheet rolling, steel sheet rolling, steel cutoff, U - RoW
Input	Silver	2,91E-06	kg	market for silver silver cutoff, U - GLO
Input	steel, chromium steel 18/8	1,03E-03	kg	ADAPT - steel production, electric, chromium steel 18/8 steel, chromium steel 18/8 cutoff, U - RoW
Input	steel, low-alloyed	3,64E-01	kg	ADAPT - steel production, electric, low-alloyed steel, low-alloyed cutoff, U - RoW
Input	synthetic rubber	3,04E-05	kg	market for synthetic rubber synthetic rubber cutoff, U - GLO
Input	tap water	8,33E-01	kg	market for tap water tap water cutoff, U - BR
Input	titanium zinc plate, without pre-weathering	4,60E-03	kg	ADAPT - titanium zinc plate production, without pre-weathering titanium zinc plate, without pre-weathering cutoff, U - RoW
Input	water pump operation, electric	6,36E-02	kWh	water pump operation, electric water pump operation, electric cutoff, U - BR
Output	Forragem verde hidropônica	1,00E+00	kg	
Output	waste electric and electronic equipment	6,64E-04	kg	market for waste electric and electronic equipment waste electric and electronic equipment cutoff, U - GLO
Output	waste plastic, mixture	1,27E-03	kg	
Output	waste polyvinylchloride	1,22E-03	kg	market for waste polyvinylchloride waste polyvinylchloride cutoff, U - BR
Output	wastewater, unpolluted	8,30E-04	m3	treatment of wastewater, unpolluted, wastewater treatment wastewater, unpolluted cutoff, U - RoW

FONTE: Ecoinvent 3.10, 2025 – dataset BioFeed

Categoria	Contribuição	Processo	Proporção de valores	Unidade	Total result [kg CO2-Eq]
Materiais de construção	51,20%	ADAPT - polyvinylchloride production, suspension polymerisation polyvinylchloride, suspension polymerised cutoff, U - RoW	0,5801	kg	1,37E+00
Materiais de construção	16,40%	ADAPT - steel production, electric, low-alloyed steel, low-alloyed cutoff, U - RoW	0,3640	kg	4,39E-01
Materiais de construção	12,50%	ADAPT - sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium cutoff, U - RoW	0,8846	kg	3,34E-01
Materiais de construção	5,04%	market for metal part of electronics scrap, in copper, anode metal part of electronics scrap, in copper, anode cutoff, U - GLO	0,0923	kg	1,35E-01
Materiais de construção	4,45%	glass fibre reinforced plastic production, polyamide, injection moulded glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded cutoff, U - RoW	0,0132	kg	1,19E-01
Materiais de construção	1,49%	ADAPT - compact fluorescent lamp production compact fluorescent lamp cutoff, U - GLO	0,0103	Item(s)	3,97E-02
Alimentação	1,39%	maize grain production, first crop maize grain cutoff, U - BR-MG	0,1000	kg	3,73E-02
Alimentação	1,38%	maize grain production, second crop maize grain cutoff, U - BR-MG	0,1000	kg	3,69E-02
Materiais de construção	1,07%	polypropylene production, granulate polypropylene, granulate cutoff, U - RoW	0,0126	kg	2,87E-02
Materiais de construção	0,83%	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer cutoff, U - RoW	0,0048	kg	2,21E-02
Materiais de construção	0,73%	ADAPT - cobalt production copper, cathode cutoff, U - GLO	0,0038	kg	1,96E-02
Materiais de construção	0,45%	ADAPT - polycarbonate production polycarbonate cutoff, U - RoW	0,0017	kg	1,20E-02

Categoria	Contribuição	Processo	Proporção de valores	Unidade	Total result [kg CO2-Eq]
Transformação	0,37%	ADAPT - extrusion, plastic pipes extrusion, plastic pipes cutoff, U - RoW	0,0441	kg	9,93E-03
Materiais de construção	0,35%	nylon 6 production nylon 6 cutoff, U - RoW	0,0010	kg	9,34E-03
Materiais de construção	0,18%	ADAPT - steel production, electric, chromium steel 18/8 steel, chromium steel 18/8 cutoff, U - RoW	0,0010	kg	4,90E-03
Materiais de construção	0,10%	ADAPT - polyester fibre production, finished fibre, polyester cutoff, U - RoW	0,0006	kg	2,74E-03
Materiais de construção	0,05%	market for silver silver cutoff, U - GLO	0,0000	kg	1,40E-03
Transformação	0,04%	ADAPT - polyethylene production, high density, granulate, recycled polyethylene, high density, granulate, recycled cutoff, U - RoW	0,0021	kg	1,03E-03
Materiais de construção	0,03%	ADAPT - sheet rolling, steel sheet rolling, steel cutoff, U - RoW	0,0026	kg	7,47E-04
Água	0,02%	market for tap water tap water cutoff, U - BR	0,8334	kg	5,53E-04
Materiais de construção	0,01%	activated carbon production, granular from hard coal activated carbon, granular cutoff, U - RoW	0,0000	kg	1,45E-04
Água	0,00%	treatment of wastewater, unpolluted, wastewater treatment wastewater, unpolluted cutoff, U - RoW	0,0008	m3	1,02E-04
Transformação	0,00%	market for electrolyte, copper-rich electrolyte, copper-rich cutoff, U - GLO	0,0000	kg	1,01E-04
Materiais de construção	0,00%	ADAPT - polyurethane production, rigid foam polyurethane, rigid foam cutoff, U - RoW	0,0000	kg	5,10E-05
Solo	0,00%	land use change, pasture, man made land use change, pasture, man made cutoff, U - BR-MG	0,0001	m2	2,30E-05
Materiais de construção	0,00%	reinforcing steel production reinforcing steel cutoff, U - RoW	0,0000	kg	3,92E-06

FONTE: próprio autor