



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
ALIMENTOS - PPGEAL

Área de Concentração: Ciência de Alimentos

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE PÃO DE MANDIOCA
POR UMA ASSOCIAÇÃO DE MULHERES EM SISTEMA AGROECOLÓGICO

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL

2026

GEISA SALES OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE PÃO DE MANDIOCA
POR UMA ASSOCIAÇÃO DE MULHERES EM SISTEMA AGROECOLÓGICO**

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Franco

Coorientadora: Dra. Izis Rafaela Alves Silva Vieira

ITAPETINGA-BA

2026

664.752
O47a

Oliveira, Geisa Sales.

Avaliação do ciclo de vida da produção de pão de mandioca: Por uma associação de mulheres em sistema agroecológico. / Geisa Sales Oliveira. – Itapetinga-BA: UESB, 2026.
57f.

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Área de Concentração: Ciência de Alimentos. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Marcelo Franco e coorientação da D. Sc. Izis Rafaela Alves Silva Vieira.

1. Pão de mandioca – Ciclo de vida. 2. Panificação - Agricultura familiar. 3. Pão de mandioca artesanal – Sistema agroecológico. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Franco, Marcelo. III. Vieira, Izis Rafaela Alves Silva. IV. Título.

CDD (21): 664.752

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Empreendedorismo rural - Mulheres

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE PÃO DE MANDIOCA POR UMA ASSOCIAÇÃO DE MULHERES EM SISTEMA AGROECOLÓGICO”

Autor (a): GEISA SALES OLIVEIRA

Orientador (a): Prof. Dr. Marcelo Franco

Coorientador (a): Prof^ª Dr.^a Izis Rafaela Alves Silva Vieira

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **IZIS RAFAELA ALVES SILVA VIEIRA**
Data: 27/03/2026 09:15:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Izis Rafaela Alves Silva Vieira
(UESC)

Documento assinado digitalmente
 **GRAZIELLY DE JESUS SILVA GONCALVES**
Data: 27/03/2026 12:34:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr.^a. Grazielly de Jesus Silva
(UESB)

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO FRANCO**
Data: 27/03/2026 13:22:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Franco
Orientador – UESB
Presidente da Banca

Itapetinga-BA, 27 de março de 2026.

À minha mãe, Andrelina, e ao meu pai, José, que sempre acreditaram em meu caminho.

*À minha irmã, Andreia, que sempre esteve por
perto com palavras de apoio.*

*Ao Silas, meu companheiro, que dividiu comigo
não apenas os dias fáceis, mas também os mais
desafiadores.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Franco, pelo acolhimento, pela confiança e pelas orientações firmes, que tanto contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, Dra. Izis Rafaela Alves Silva Vieira, deixo um agradecimento muito especial. Sua dedicação, sensibilidade e cuidado foram além da orientação acadêmica, oferecendo apoio e inspiração em cada etapa desta jornada. Sua escuta atenta e seu incentivo constante fizeram toda a diferença para que este estudo se concretizasse.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, agradeço pela oportunidade e pela estrutura disponibilizada, ambas fundamentais para a realização desta pesquisa.

À CAPES, pelo suporte financeiro concedido por meio da bolsa de estudos que viabilizou a execução desta pesquisa.

À Prof.^a Cristiane Martins Veloso, coordenadora do curso, e à Jamille, expresso minha gratidão pelo suporte oferecido ao longo desta trajetória acadêmica.

À Associação de Mulheres do Projeto de Assentamento Santa Irene (AMPASSI), agradeço pela parceria generosa e pela constante disponibilidade em colaborar com este estudo.

E, de modo especial, à Andreia, presidente da AMPASSI, expresso meu carinho pela confiança depositada em mim e pela oportunidade de realizar este trabalho em parceria.

Meu sincero agradecimento!

*Somos guiados por nossos instintos, nossa intuição, nossos desejos e medos, nossas
cicatrizes e nossos sonhos.*

Taylor Swift

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELA.....	10
LISTA DE QUADROS.....	11
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. OBJETIVO GERAL.....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 PANIFICAÇÃO.....	15
3.1.1 História e contexto sociocultural.....	15
3.1.2 Características nutricionais e tecnológicas do pão de tradicional.....	15
3.1.3 Impactos ambientais do pão tradicional.....	17
3.2. MANDIOCA.....	18
3.2.1. Origem e importância socioeconômica.....	18
3.2.2. Agricultura familiar e agroecologia.....	19
3.2.3. Cultivares de mandioca.....	21
3.3.3 Potencial de utilização da mandioca na panificação.....	23
3.4. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	24
4. ARTIGO: Avaliação do ciclo de vida da produção de pão de mandioca em sistemas agroecológicos de agricultura familiar.....	29
1. Introdução.....	30
2. Materiais e métodos.....	31
2.1. Caracterização do processo de produção do pão de mandioca.....	31
2.2. Avaliação do Ciclo de Vida.....	33
2.2.1. Objetivo e escopo.....	33
2.2.2. Inventário do ciclo de vida.....	34
2.2.3. Avaliação do impacto.....	36
2.2.4. Interpretação.....	37
3. Resultado e discussão.....	37
4. Conclusão.....	44
5. Referências.....	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS.....	50
APÊNDICE A - Formulário empregado para a coleta de dados referentes ao cultivo da mandioca.....	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Cultivo de mandioca

20

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Características dos estudos selecionados sobre ACV em produtos de panificação e cadeias relacionadas

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição da mandioca e derivados por 100 gramas de parte comestível	24
--	----

RESUMO

A produção de pães ocupa papel central na alimentação brasileira, mas sua cadeia produtiva costuma apresentar impactos ambientais elevados, especialmente em decorrência do cultivo de trigo e do consumo energético. Nesse contexto, o uso da mandioca, por se tratar de um alimento histórico, culturalmente relevante e majoritariamente cultivado pela agricultura familiar, surge como alternativa estratégica para a panificação sustentável. Este estudo avaliou os potenciais impactos ambientais associados à produção artesanal de pão de mandioca realizada por uma associação de mulheres do Assentamento Santa Irene (AMPASSI), na Bahia, que cultiva mandioca em sistema agroecológico. O trabalho utilizou a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), seguindo as normas ISO 14040 e 14044, com abordagem atribucional cradle-to-gate. O sistema foi modelado desde o cultivo da mandioca até a produção de 1 kg de pão, adotado como unidade funcional. Os dados primários foram obtidos por registros da associação, acompanhamento da produção e medições de consumo de energia, enquanto dados secundários foram extraídos da base Agribalyse 3.1.1 e literatura científica. A avaliação de impacto utilizou o método ReCiPe 2016 Midpoint (H), considerando categorias como Aquecimento Global, Consumo de Água, Acidificação, Eutrofização e Ecotoxicidade. Os resultados mostram que a etapa agrícola é a principal responsável pelos impactos ambientais, sobretudo devido ao cultivo da mandioca e ao uso de farinha de trigo. A produção de 1 kg de pão gera 0,84346 kg CO₂ eq na categoria de Aquecimento Global e 0,04418 m³ de consumo de água, com forte influência das emissões de campo, uso do solo e produtividade agrícola. A mandioca foi o principal hotspot em seis das oito categorias analisadas, enquanto a farinha de trigo apresentou contribuição relevante em categorias como Eutrofização Marinha e Ecotoxicidade Terrestre. As etapas de panificação, energia, combustíveis e embalagem apresentaram impacto inferior a 3% em todas as categorias. Os resultados evidenciam que, embora o sistema agroecológico reduza dependência de insumos externos, desafios permanecem quanto à produtividade e manejo do solo. Conclui-se que intervenções para melhoria ambiental devem priorizar a etapa agrícola, incluindo aumento da eficiência produtiva, melhoramento de cultivares, práticas regenerativas e avaliação de cenários alternativos com menor dependência de trigo. O estudo contribui para fortalecer a ecoeficiência da agricultura familiar, apoiar estratégias locais de sustentabilidade e ampliar a compreensão sobre cadeias de panificação baseadas em matérias-primas regionais.

Palavras-chave: Impacto ambiental; Panificação; Empreendedorismo feminino rural; Sistemas agroalimentares.

ABSTRACT

Bread production is an essential component of Brazilian food systems; however, conventional wheat-based bakery chains often exhibit significant environmental impacts, particularly linked to crop cultivation and energy consumption. In this context, cassava, a culturally rooted and widely produced crop within Brazilian family farming, emerges as a strategic ingredient for more sustainable bakery products. This study assessed the potential environmental impacts of artisanal cassava bread produced by the Women's Association of the Santa Irene Settlement (AMPASSI), in Bahia, where cassava is cultivated under agroecological practices. The research employed the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, following ISO 14040 and 14044 standards, using an attributional cradle-to-gate approach. The system boundaries encompassed the complete chain from cassava cultivation to the production of 1 kg of bread, defined as the functional unit. Primary data were collected through production monitoring, internal records, and energy consumption measurements, whereas secondary data were sourced from the Agribalyse 3.1.1 database and scientific literature. Environmental impacts were evaluated using the ReCiPe 2016 Midpoint (H) method, covering categories such as Global Warming, Water Consumption, Acidification, Eutrophication, and Ecotoxicity. Results showed that the agricultural stage is the main contributor to environmental impacts, particularly cassava cultivation and the use of wheat flour. Producing 1 kg of cassava bread generates 0.84346 kg CO₂-eq in Global Warming and 0.04418 m³ of water consumption. Cassava represented the primary hotspot in six out of eight impact categories, while wheat flour contributed significantly to marine eutrophication and terrestrial ecotoxicity. Processing, energy use, fuel consumption, and packaging accounted for less than 3% of total impacts in all categories. Overall, the findings indicate that although agroecological systems reduce dependence on external inputs, challenges remain regarding productivity and soil-related emissions. Promoting environmental improvements requires interventions focused on agricultural practices, including productivity enhancement, adoption of improved cultivars, regenerative soil management, and reduced dependence on wheat flour. This study supports strategies for eco-efficient family farming, strengthens local sustainability initiatives, and contributes to the scientific understanding of cassava-based bakery systems.

Keywords: Environmental impact; Breadmaking; Rural women's entrepreneurship; Agri-food systems.

1. INTRODUÇÃO

O pão, base alimentar de diversas civilizações, tem sua produção permeada por aspectos sociais, culturais e tecnológicos, os quais refletem práticas transmitidas entre gerações. Dessa forma, a panificação preserva identidades étnicas, fortalece sistemas agroalimentares e fornece nutrientes essenciais, como carboidratos e fibras (Zare et al., 2025). No entanto, o modelo de produção convencional, majoritariamente baseado no trigo, está associado a impactos ambientais significativos, especialmente relacionados ao cultivo do cereal e ao consumo energético. Essa realidade evidencia a necessidade de se adotarem matérias-primas regionais e estratégias de produção que reduzam a pegada ambiental da cadeia produtiva (Hildersten et al., 2025).

Estudos recentes demonstram que sistemas agroecológicos podem melhorar a resiliência produtiva e reduzir a dependência de insumos externos, ao mesmo tempo em que preservam serviços ecossistêmicos relevantes. Pesquisas realizadas em sistemas de policultivo que incluem mandioca mostram ganhos em diversidade produtiva, conservação de solo e manutenção de saberes tradicionais, apontando que o manejo (como cobertura de solo e práticas de rotação) influencia tanto a produtividade quanto os perfis de impacto ambiental. Esses trabalhos ressaltam a importância de avaliar, de forma contextualizada, sistemas agroecológicos que incorporam mandioca na cadeia alimentar regional (Vasconcelos et al., 2023; Alves et al., 2022).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) destaca-se como insumo estratégico no Brasil, visto que, em 2023, o país produziu cerca de 18,5 milhões de toneladas. Com relevância histórica e cultural, essa raiz versátil permite o desenvolvimento de diversos alimentos, incluindo pães sem glúten, atendendo a demandas contemporâneas em termos de nutrição e mercado. A agricultura familiar é responsável por parcela significativa da produção nacional de mandioca, contribuindo para a oferta de alimentos e para a manutenção de práticas agroecológicas locais (IBGE, 2023).

É nesse cenário que se insere a produção de pães de mandioca realizada por uma associação de mulheres do Assentamento Santa Irene, na Bahia. As agricultoras cultivam a raiz em sistemas agroecológicos, caracterizados pelo cultivo diversificado e manejo de baixo insumo químico. Essas associações buscam melhorar o desempenho ecológico, produtivo e socioeconômico do agroecossistema local.

No entanto, mesmo sistemas produtivos de base agroecológica geram impactos ambientais que precisam ser avaliados para que possam ser continuamente aprimorados. Diante disso, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) constitui uma metodologia adequada para identificar e quantificar os impactos ambientais associados à cadeia de produção de pães de mandioca, fornecendo subsídios técnicos para propostas de melhoria (ISO 14040; ISO 14044).

Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais da produção artesanal de pães de mandioca realizada por uma associação de mulheres do Assentamento Santa Irene, na Bahia. Para isso, utiliza-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, com a finalidade de identificar os pontos críticos do processo produtivo e propor recomendações que reduzam seus impactos ambientais. Espera-se, com isso, contribuir para a ecoeficiência do sistema produtivo, fortalecer a agricultura familiar e subsidiar estratégias compatíveis com a realidade socioeconômica da região.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a sustentabilidade ambiental da produção artesanal de pão de mandioca em sistema agroecológico, desenvolvida por uma associação de mulheres do Assentamento Santa Irene (BA), por meio da Avaliação do Ciclo de Vida.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir o objetivo e o escopo do estudo de ACV, considerando a aplicação agroecológica e o contexto socioproductivo da associação.
- Modelar o sistema de produto, delimitando a fronteira do ciclo de vida desde o cultivo da mandioca até a obtenção do pão.
- Coletar e compilar dados de inventário do ciclo de vida referentes aos fluxos de matéria, energia e emissões associados às etapas de cultivo e processamento.
- Avaliar os impactos ambientais potenciais por meio de categorias de impacto relevantes.
- Interpretar os resultados da ACV, identificando os contribuintes e os processos mais impactantes, e propor recomendações para a redução dos impactos ambientais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PANIFICAÇÃO

3.1.1 História e contexto sociocultural

O pão é um dos alimentos mais antigos da humanidade e acompanha a história de diferentes civilizações. Desde as primeiras técnicas de moagem e fermentação natural, sua produção consolidou práticas sociais, culturais e econômicas vinculadas à alimentação cotidiana. A panificação, portanto, ultrapassa o caráter nutricional e representa também um elemento cultural e simbólico (Zare et al., 2025). No Brasil, o pão consolidou-se como um alimento essencial, mesmo com diferenças regionais de consumo (Saab et al, 2001).

A história do pão no Brasil remonta ao século XIX. Antes da popularização da farinha de trigo, os alimentos consumidos eram, em sua maioria, à base de mandioca, como o biju de tapioca e a farofa. A produção de pães, inicialmente doméstica, passou a ocorrer de forma artesanal e, posteriormente, industrial, com a chegada dos imigrantes italianos e a instalação das primeiras padarias em Minas Gerais (ABIP, 2007). Esse panorama histórico demonstra não apenas a importância do pão na cultura alimentar brasileira, mas também o papel das padarias enquanto espaços de sociabilidade e geração de renda.

O setor de panificação, além de essencial na alimentação, destaca-se como um ambiente favorável ao empreendedorismo. Como aponta Machado et al. (2008), negócios de panificação atraem indivíduos com perfil empreendedor, motivados pela oportunidade de explorar um mercado tradicional, mas em constante renovação, exigindo visão estratégica e capacidade de inovação para se manter competitivo. Apesar das particularidades e desafios do segmento, como concorrência crescente, variações nos custos dos insumos e necessidade de adequação tecnológica, a panificação continua sendo um ramo acessível e lucrativo, especialmente para micro e pequenos empresários.

3.1.2 Características nutricionais e tecnológicas do pão de tradicional

Do ponto de vista nutricional, o pão é uma importante fonte de carboidratos, fibras e micronutrientes. Os atributos sensoriais, como maciez, volume e estrutura interna, estão diretamente relacionados à matriz formada pelo glúten durante a mistura e fermentação. Esse conjunto de características faz com que o trigo seja o cereal mais utilizado mundialmente na panificação (Hildersten et al., 2025).

Os sistemas tecnológicos da panificação também evoluíram significativamente, incorporando fermentações controladas, melhoradores de massa e equipamentos de alta

eficiência. Entretanto, a dependência do trigo e o uso intensivo de energia em algumas etapas aumentam os impactos ambientais associados à produção do pão.

O pão produzido exclusivamente com farinha de trigo apresenta características nutricionais e tecnológicas que fundamentam seu amplo uso e aceitação na panificação. Do ponto de vista nutricional, trata-se de um alimento rico em carboidratos complexos, contendo ainda proteínas, fibras e micronutrientes, especialmente vitaminas do complexo B e minerais. O amido, principal componente da farinha, é responsável pela maior parte do valor energético do pão e desempenha papel central na estrutura durante o forneamento (Hildersten et al., 2025).

A principal particularidade tecnológica do pão de trigo está associada ao glúten, rede tridimensional formada pela hidratação e interação mecânica das proteínas glutenina e gliadina. Essa matriz proteica confere propriedades fundamentais, tais como viscoelasticidade, capacidade de retenção de gás, elasticidade, força da massa e volume do pão, atributos essenciais para a estrutura característica de pães fermentados, como o pão francês (Cauvain & Young, 2007; Pomeranz, 1988). A formação dessa rede ocorre inicialmente na mistura, quando as proteínas absorvem água, e é intensificada pela sova, etapa que promove alinhamento e estabilização das cadeias proteicas, permitindo que a massa suporte a expansão resultante da fermentação (Cauvain, 2015).

Os demais ingredientes também desempenham papéis funcionais decisivos no comportamento tecnológico da massa:

Água hidrata proteínas e amido, permitindo a formação do glúten e a gelatinização durante o forneamento;

Fermento produz CO₂ e compostos aromáticos que expandem a massa e influenciam o flavor;

Sal fortalece a rede de glúten e regula a fermentação;

Açúcar, quando presente, atua como substrato para leveduras e contribui para a coloração da crosta por meio das reações de Maillard;

Gorduras e emulsificantes melhoram maciez, volume e vida útil.

O comportamento da massa de trigo ao longo das etapas de mistura, fermentação, modelagem e forneamento determina a estrutura final do pão. A capacidade da farinha de trigo de formar uma rede viscoelástica estável confere ao pão tradicional previsibilidade tecnológica, estabilidade durante a fermentação e qualidade sensorial consistente (Jacob & Pomeranz, 1994; Cauvain, 2015). Esses fatores explicam a predominância do trigo na panificação mundial e seu papel central na produção de pães industriais e artesanais,

consolidando-o como referência para avaliação de alternativas tecnológicas em formulações que utilizam outras matérias-primas.

3.1.3 Impactos ambientais do pão tradicional

A produção de pão tradicional, baseada quase exclusivamente na farinha de trigo, apresenta impactos ambientais significativos ao longo de seu ciclo de vida, especialmente nas etapas agrícolas. Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) demonstram que o cultivo do trigo é responsável pela maior parcela dos impactos, principalmente em categorias como aquecimento global, acidificação, eutrofização e ecotoxicidade. Esses efeitos derivam do uso intensivo de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, emissões associadas ao manejo do solo, consumo de energia e necessidades elevadas de área agrícola.

Pesquisas com diferentes sistemas de cultivo mostram que, embora a agricultura orgânica possa reduzir impactos relacionados a fertilizantes sintéticos, a menor produtividade tende a elevar impactos por unidade funcional (kg de grão), reforçando o peso da etapa agrícola no ciclo do trigo (Verdi et al., 2022). Em sistemas convencionais, o uso de fertilizantes nitrogenados aumenta as emissões de óxidos de nitrogênio e contribui para processos de eutrofização terrestre e aquática, além de intensificar a acidificação (Verdi et al., 2022)

De forma consistente, análises envolvendo diferentes rotações de culturas em sistemas de trigo evidenciam que o cultivo do cereal permanece como o principal responsável pelo impacto climático total, mesmo quando inserido em regimes ecológicos ou de menor uso de insumos (Sustainability, 2023). A escolha do sistema de manejo, assim como das culturas complementares da rotação, influencia o resultado final, mas não altera a predominância do trigo como principal driver ambiental.

Além da etapa agrícola, a cadeia do pão inclui impactos associados ao processamento industrial (moagem, fermentação e forneamento), que dependem de energia térmica e elétrica. Entretanto, diversos estudos indicam que esses impactos costumam ser menores quando comparados aos do cultivo do trigo (Goucher et al., 2017).

No contexto brasileiro, há ainda o agravante da dependência da importação de trigo. Como o Brasil importa boa parte do cereal consumido, impactos adicionais podem surgir do transporte de longa distância, especialmente relacionados ao consumo de combustíveis fósseis, aspecto já discutido em pesquisas que avaliam o transporte agrícola como componente relevante no ciclo de produtos à base de trigo (Meisterling et al., 2009).

Assim, a literatura científica converge ao apontar que: o cultivo do trigo é o principal contribuinte para os impactos ambientais do pão; fertilizantes nitrogenados e a menor produtividade de alguns sistemas ampliam impactos em acidificação, eutrofização e aquecimento global; as etapas industriais possuem menor influência relativa, embora ainda relevantes para energéticos; regiões tropicais enfrentam impactos adicionais devido à dependência de importação do trigo. Essas evidências fundamentam o problema apresentado na introdução e reforçam a importância de investigar alternativas mais sustentáveis, incluindo o uso de matérias-primas locais como a mandioca.

3.2. MANDIOCA

3.2.1. Origem e importância socioeconômica

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), conhecida no Brasil como aipim ou macaxeira, é uma raiz nativa da América do Sul e há séculos desempenha papel central nos sistemas alimentares de povos indígenas. Ramos (1943) descreve que os Tupi aperfeiçoaram técnicas de cultivo herdadas dos Aruak, grupo reconhecido por dominar práticas de processamento e aproveitamento da planta. Essa trajetória histórica evidencia a importância da mandioca não apenas como alimento, mas como elemento estruturante de modos de vida, práticas agrícolas e conhecimentos tradicionais transmitidos entre gerações.

Diversos registros de viajantes entre os séculos XVII e XIX documentam sua presença em diferentes regiões do país. Barléu (1974) relatou a importância da mandioca na alimentação de indígenas e colonos em Pernambuco. Agassiz (2000), ao percorrer o Brasil entre 1848 e 1859, descreveu seu papel econômico para populações do Norte, destacando a produção de farinha, tapioca e bebidas fermentadas como o tucupi. Saint-Hilaire (1936) registrou o avanço do cultivo para o Sudeste, especialmente em Minas Gerais e Espírito Santo, mostrando que a cultura foi sendo incorporada de forma diversa conforme os contextos regionais.

A mandioca possui forte valor cultural e social. Em comunidades tradicionais e quilombolas, sua produção envolve sistemas próprios de organização do trabalho, instrumentos específicos e unidades de medida como vara, braça e tarefa, ainda utilizadas na fabricação artesanal de farinha (Vizolli et al., 2012). Além disso, o processamento da raiz origina uma ampla gama de subprodutos de relevância socioeconômica, como a maniva (folhas processadas), raízes pubadas e não pubadas, massas úmidas, farinhas de diferentes granulações, polvilho, tapioca e o tucupi, conforme destacado por Alves et al. (2022). Tais

práticas, ao mesmo tempo que preservam saberes ancestrais, contribuem para a segurança alimentar e para a manutenção de sistemas produtivos adaptados a ambientes tropicais.

No cenário contemporâneo, a mandioca permanece estratégica para a economia agrícola nacional. Segundo dados atualizados da FAO, a produção mundial de mandioca alcançou aproximadamente 303 milhões de toneladas em 2021, concentrada principalmente na África, responsável por mais de 60% do total, seguida pela Ásia e América Latina. O Brasil figura entre os maiores produtores das Américas, com produção estimada em 18,5 milhões de toneladas em 2023, de acordo com o IBGE. Os principais estados produtores incluem Pará, Bahia, Paraná, Rio Grande do Sul e Amazonas, que se destacam tanto pelo volume quanto pela relevância sociocultural da cultura nessas regiões.

A mandioca também assume papel importante no mercado global de amidos. Segundo García et al. (2020), trata-se de uma das principais fontes de amido utilizadas no mundo, ocupando posição de destaque entre as culturas alimentares consumidas em regiões tropicais devido à sua versatilidade, tolerância a condições adversas e adaptabilidade a sistemas de produção de base familiar.

Assim, a mandioca reúne dimensões históricas, culturais, sociais, econômicas e ecológicas que justificam seu papel central na agricultura familiar brasileira. Sua relevância produtiva e simbólica torna a raiz um elemento chave para análises que considerem sustentabilidade, agroecologia e desenvolvimento territorial.

3.2.2. Agricultura familiar e agroecologia

A agricultura familiar corresponde ao conjunto de sistemas produtivos conduzidos majoritariamente pela própria família, com uso reduzido de insumos externos e com produção voltada ao autoconsumo e à comercialização em pequena escala. Essa forma de produção tem papel decisivo na segurança alimentar e nutricional do país, sendo responsável por grande parte dos alimentos frescos consumidos pela população brasileira (Lowder et al., 2021). Entre esses alimentos, destaca-se a mandioca, cultura que se mantém como base alimentar histórica e elemento estruturante das formas tradicionais de organização do trabalho rural.

No Brasil, a mandioca possui forte vínculo com a agricultura familiar, especialmente nas regiões Norte e Nordeste. De acordo com o IBGE (2022), o estado do Pará é o maior produtor nacional, com aproximadamente 1,25 milhão de hectares cultivados e produção superior a 18,2 milhões de toneladas, o que reforça a centralidade dessa cultura para os modos de vida e para a geração de renda rural. Pesquisas como as de Linhares et al. (2014) e Sousa et

al. (2015) demonstram que o cultivo da mandioca é transmitido entre gerações e está associado a práticas culturais, rituais locais e relações de troca e reciprocidade, configurando-se como patrimônio alimentar de diversas comunidades tradicionais.

Figura 1: Cultivo de mandioca



Fonte: AMPASSI

No contexto amazônico, práticas produtivas tradicionais persistem como componentes essenciais da agricultura familiar. O estudo de Vasconcelos et al. (2023), realizado na comunidade de Matacurá (Baião-PA), revela a presença de sistemas de corte e queima para preparo do solo, o emprego de policultivos e a diversificação de espécies como estratégias para garantir segurança alimentar. O consórcio entre mandioca e outras culturas, como milho, feijão, hortaliças e frutíferas, permite, ao mesmo tempo, suprir as necessidades da família e gerar excedentes comercializáveis nos mercados locais

Os depoimentos registrados no estudo reforçam o papel central da mandioca para a subsistência das famílias. Joelson Mendes, agricultor de 31 anos, relata que a ausência da mandioca comprometeria diretamente a alimentação da comunidade, uma vez que o sustento doméstico depende tanto do consumo próprio quanto da venda ou troca de seus derivados. Essa dimensão simbólica, associada à função nutricional, confere à mandioca uma importância singular na identidade coletiva desses grupos.

A diversificação dos cultivos, como observado por Vasconcelos et al. (2023), funciona como estratégia eficiente para reduzir riscos, ampliar a oferta de alimentos e preservar a resiliência ecológica dos sistemas produtivos. Esse modelo converge com os princípios da agroecologia, que valoriza os saberes locais, promove a conservação da biodiversidade agrícola e reduz a dependência de insumos químicos externos. Práticas como cobertura morta, rotação de culturas, consórcios e uso de variedades crioulas contribuem para o manejo sustentável do solo, para o incremento da fertilidade natural e para a manutenção das características socioambientais que sustentam os modos de vida rurais (Alves et al., 2022).

Assim, a mandioca integra um conjunto de sistemas agroecológicos que articulam alimentação, cultura, identidade territorial e sustentabilidade ambiental. A compreensão desses sistemas é essencial para análises que envolvem impactos ambientais, pois permite reconhecer que a agricultura familiar baseada na mandioca pode apresentar dinâmicas produtivas e ecológicas distintas daquelas observadas nos modelos agrícolas convencionais.

3.2.3. Cultivares de mandioca

A mandioca apresenta grande diversidade genética, resultado de processos de domesticação conduzidos por povos originários e mantidos por agricultores familiares ao longo dos séculos. Uma das principais formas de classificação das variedades é baseada no teor de compostos cianogênicos presentes nas raízes, distinguindo-se dois grandes grupos: mandioca mansa e brava. A mandioca mansa, caracterizada por baixos teores desses

compostos, é destinada ao consumo direto e comercializada in natura, pré-cozida ou congelada. Já a mandioca brava apresenta maiores concentrações de glicosídeos cianogênicos, exigindo processamento adequado e sendo amplamente utilizada pela indústria na produção de farinha, polvilho, fécula e outros derivados aplicados nos setores alimentício, têxtil, farmacêutico e cosmético (Embrapa, 2025).

Essas diferenças no conteúdo de cianogênicos e nas propriedades tecnológicas das raízes fazem com que cada grupo apresente cadeias de valor específicas e etapas de processamento distintas. Consequentemente, os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida também variam conforme o destino da matéria-prima, já que produtos como fécula e farinha demandam processos industriais com requisitos energéticos diferentes.

Nos últimos anos, o melhoramento genético tem desempenhado papel central no desenvolvimento de cultivares de mandioca mais adaptadas às demandas nutricionais e ambientais. Entre os avanços mais significativos estão as variedades biofortificadas, ricas em carotenoides como betacaroteno e licopeno, importantes para a prevenção da deficiência de vitamina A e para a promoção da saúde nutricional (Embrapa, 2025). Paralelamente, têm sido introduzidas cultivares com maior produtividade, maior teor de amido, menor ciclo de cultivo e resistência a pragas, doenças e estresses hídricos, características essenciais para sistemas agrícolas sustentáveis.

Essas variedades modernizadas contribuem para a redução do uso de insumos químicos, aumentam a resiliência das lavouras e evitam a necessidade de expansão de áreas plantadas. Dessa forma, o melhoramento genético se configura como ferramenta importante para mitigar impactos ambientais da cadeia produtiva da mandioca, ao possibilitar maior rendimento por área e menor vulnerabilidade climática.

Além das cultivares desenvolvidas por programas de pesquisa, há ampla presença de variedades crioulas, preservadas e multiplicadas por agricultores familiares. Essas variedades locais apresentam grande diversidade morfológica e funcional e são selecionadas de acordo com preferências culturais, condições edafoclimáticas e usos específicos, como mandioca de mesa, de indústria, para farinha seca, farinha d'água ou tucupi. A preservação desse patrimônio genético é fundamental para a manutenção da agrobiodiversidade, ampliando a capacidade adaptativa das comunidades rurais e contribuindo para a segurança alimentar e cultural (Alves et al., 2022). Assim, a diversidade de cultivares de mandioca, resultante tanto do melhoramento genético formal quanto da seleção tradicional, desempenha papel essencial na construção de sistemas produtivos resilientes, culturalmente enraizados e ambientalmente sustentáveis.

3.3.3 Potencial de utilização da mandioca na panificação

A incorporação de ingredientes regionais como a mandioca na produção de pães destinados à alimentação escolar está alinhada às diretrizes do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Desde a Lei nº 11.947/2009, o programa orienta que os cardápios devem valorizar alimentos da cultura alimentar local e priorizar a aquisição de produtos da agricultura familiar, fortalecendo circuitos curtos de comercialização e promovendo segurança alimentar e nutricional (Brasil, 2009). Nesse contexto, a mandioca se destaca como um produto estratégico, amplamente cultivado em sistemas familiares e tradicionalmente presente na dieta de diferentes regiões brasileiras.

A literatura demonstra que a inclusão de alimentos da sociobiodiversidade na alimentação escolar traz benefícios que ultrapassam o aspecto nutricional. O estudo de Hendler et al. (2021), ao inserir ingredientes tradicionais como milho-catete e feijão-sopinha em escolas quilombolas, evidenciou contribuições importantes para a valorização cultural, dinamização da economia local e fortalecimento das identidades territoriais. Considerando essa perspectiva, a mandioca apresenta potencial semelhante por sua importância histórica, caráter identitário e forte vínculo com os sistemas produtivos familiares.

Do ponto de vista tecnológico, a mandioca oferece características funcionais que favorecem sua aplicação na panificação. O amido presente em suas raízes possui alta capacidade de gelatinização, excelente retenção de água e habilidade de formar géis estáveis. Essas propriedades contribuem para conferir aos pães maior maciez, textura interna mais úmida e sensação de leveza, atributos sensoriais apreciados pelos consumidores. Embora a mandioca não contenha glúten, pode ser empregada em formulações mistas, substituindo parcialmente a farinha de trigo, ou utilizada como base para pães isentos desse composto, ampliando as possibilidades de inovação em produtos destinados a consumidores com restrições alimentares. Estudos recentes têm apontado resultados positivos na elaboração de produtos panificados com amido ou farinha de mandioca, especialmente quando associados a técnicas adequadas de processamento e ingredientes estruturantes (Zare et al., 2025).

A análise nutricional da mandioca e de seus derivados reforça seu potencial de utilização em preparações escolares. Como apresentado no Quadro 1, a mandioca crua e cozida possui alto teor de carboidratos e quantidades relevantes de fibras e minerais, enquanto produtos derivados, como farinhas e féculas, apresentam perfis tecnológicos que favorecem sua incorporação em massas de pães. O pão de mandioca produzido pela Associação de Mulheres do Projeto de Assentamento Santa Irene (AMPASSI) destaca-se por apresentar bom

valor energético, baixo teor de lipídios e aporte moderado de proteínas, características compatíveis com as demandas nutricionais de refeições escolares.

Quadro 1: Composição da mandioca e derivados por 100 gramas de parte comestível

Componente	Mandioca crua	Mandioca cozida	Farinha torrada	Fécula	Bolo	Pão ¹
Umidade (%)	61,8	68,7	8,3	17,8	34,1	-
Valor energético (kcal)	151,0	125,0	365,0	331,0	324,0	293,0
Proteínas (g)	1,1	0,6	1,2	0,5	4,4	6,3
Lipídeos (g)	0,3	0,3	0,3	0,3	12,7	3,1
Carboidratos (g)	36,2	30,1	89,2	81,1	47,9	60,0
Fibra alimentar (g)	1,9	1,6	6,5	0,6	0,7	2,0
Cinzas (g)	0,6	0,4	1,0	0,3	0,8	-
Cálcio (mg)	15,0	19,0	76,0	12,0	85,0	-
Magnésio (mg)	44,0	27,0	40,0	3,0	10,0	-
Sódio (mg)	-	-	-	-	-	239,0

Fonte: Adaptado da tabela brasileira de composição de alimentos (2011); ¹Associação de Mulheres do Projeto de Assentamento Santa Irene (AMPASSI).

Nesse cenário, a utilização de mandioca como ingrediente na panificação apresenta múltiplas vantagens. Além de contribuir para a oferta de preparações sensorialmente atrativas e nutricionalmente adequadas, favorece a redução da dependência do trigo, insumo majoritariamente importado, e fortalece a economia local, ao estimular a compra direta da agricultura familiar. A adoção desse ingrediente também reforça práticas alimentares culturalmente significativas e potencializa a integração de alimentos da sociobiodiversidade nos cardápios escolares.

Assim, a mandioca configura-se como uma alternativa tecnicamente viável, nutricionalmente relevante e culturalmente valorizada para a produção de pães destinados à alimentação escolar. Sua utilização, quando articulada a políticas públicas como o PNAE, contribui para a construção de sistemas alimentares mais sustentáveis, saudáveis e territorialmente enraizados.

3.4. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia consagrada internacionalmente para mensurar os impactos ambientais potenciais associados a produtos, processos ou serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida. Fundamentada nas normas ISO

14040 e 14044, a ACV considera desde a extração de matérias-primas até o descarte final do produto, permitindo uma análise integrada das interações ambientais em diferentes estágios da cadeia produtiva (Pelletier et al., 2014).

Seu uso vem se ampliando nos setores agrícola e agroindustrial como ferramenta de suporte à gestão ambiental, formulação de políticas públicas e estratégias de diferenciação de produtos em mercados sustentáveis (Lulovicova & Bouissou, 2024). A ACV é composta por quatro etapas principais:

Definição do objetivo e escopo: Inclui a seleção da unidade funcional, fronteiras do sistema, critérios metodológicos e categorias de impacto. Estudos recentes vêm enfatizando a necessidade de incorporar dimensões territoriais e sociais à ACV, principalmente em análises agroalimentares locais (Lulovicova & Bouissou, 2024).

Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV): Fase de coleta e quantificação de fluxos de entrada (insumos, energia, água) e saída (emissões, resíduos) do sistema.

Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV): As emissões e fluxos identificados são convertidos em indicadores ambientais, como: Mudanças climáticas; Escassez de recursos fósseis; Toxicidade humana; Uso do solo; Biodiversidade (Huijbregts Et Al., 2017; Fantkee et al., 2017).

Interpretação dos Resultados: Permite identificar os hotspots ambientais e propor melhorias. Estudos apontam que a ACV deve evitar a simples transferência de impacto entre etapas ou regiões, prática conhecida como "burden shifting" (Pelletier et al., 2014).

A aplicação da ACV no setor agroalimentar vem crescendo como resposta aos desafios dos sistemas alimentares globalizados, incluindo mudanças climáticas, escassez hídrica e perda de biodiversidade. Além disso, a ACV tem sido usada para avaliar políticas públicas como a PAC europeia e estratégias agroecológicas nacionais e locais (Lulovicova & Bouissou, 2024).

A ACV territorial, ou TLCA (Territorial Life Cycle Assessment), surgiu como resposta à limitação da ACV tradicional em contextos locais. A TLCA considera o espaço geográfico de forma explícita e permite integrar políticas alimentares locais, como cadeias curtas, planejamento territorial e reterritorialização do sistema alimentar (Loiseau et al., 2013; Lulovicova & Bouissou, 2024).

Estudos em regiões agrícolas como o departamento de Finistère (França) demonstram que os maiores impactos ambientais de sistemas locais derivam de fontes indiretas, como a alimentação animal e o consumo de diesel. Estratégias como a redução da pecuária, conversão

agroecológica e mudança de dieta da população resultaram em redução de até 25% nas emissões de gases de efeito estufa.

A ACV vem sendo utilizada como base para certificações ambientais e rótulos ecológicos (ex.: EPDs – Environmental Product Declarations), permitindo às empresas e produtores comunicarem seu desempenho ambiental de forma transparente e comparável (Pelletier, 2014).

Além disso, a ACV apoia o conceito de licença social para operar, à medida que consumidores, governos e comunidades exigem comprovação do compromisso ambiental de produtores. Ferramentas como o Cool Farm Tool e o Fieldprint Calculator já estão sendo utilizadas para facilitar esse processo com produtores agrícolas.

Tabela 1: Características dos estudos selecionados sobre ACV em produtos de panificação e cadeias relacionadas

Referência	Produto	Fronteira	Unidade funcional	Método AICV	Categorias de impacto
Rafiee et al. (2024)	Pão	Berço ao portão	1 kg	CML, ReCiPe, CED, CExD	Mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, uso da terra
Hildersten et al. (2025)	Pão de centeio	Berço ao varejo	1 kg	ReCiPe	Aquecimento global, acidificação
Kheiralipour e Sheikhi (2025)	Sistemas de panificação	Gate-to-gate	1 tonelada	CML-IA	Eutrofização, ecotoxicidade

Aljaber et al. (2025)	Produção e desperdício de pão	Berço ao túmulo	1 tonelada	ReCiPe 2016	Toxicidade humana, mudanças climáticas
Bartek et al. (2025)	Produtos de panificação	Berço ao portão	1 kg	Base Ecoinvent e Agri-footprint	Formação fotoquímica de ozônio
Hübner et al. (2024)	Produção em padarias	Sistema anual	-	Environmental Footprint 3.1	Uso da terra
Lansche et al. (2020)	Amido e chips de mandioca	Berço ao portão	1 kg	SALCA	Ecotoxicidade aquática
Ravichandran et al. (2024)	Amido de mandioca	Berço ao portão	-	ReCiPe 2016	Pegada hídrica
Verdi et al. (2022)	Trigo	Berço ao túmulo	1 kg	CML	Ecotoxicidade marinha
González-García et al. (2023)	Trigo para pão	-	1 kg	LCA comparativa	Pegada de carbono

Com o objetivo de compreender como a Avaliação do Ciclo de Vida vem sendo aplicada na análise ambiental de alimentos e, especialmente, de produtos de panificação, foi realizada uma revisão de estudos recentes disponíveis na literatura científica. A Tabela 1 apresenta uma síntese das principais características metodológicas dos trabalhos selecionados, incluindo produto avaliado, fronteiras do sistema, unidade funcional, método de avaliação de impacto e categorias ambientais analisadas.

De modo geral, observa-se que a maioria dos estudos adota unidades funcionais baseadas em massa, principalmente 1 kg de produto, o que facilita a comparação entre diferentes sistemas produtivos e produtos alimentícios. Esse padrão também é amplamente

relatado em estudos de ACV aplicados ao setor agroalimentar, uma vez que a massa do produto final representa uma medida direta e comparável do desempenho ambiental.

Em relação às fronteiras do sistema, verificou-se predominância das abordagens “berço ao portão” (cradle-to-gate) e “berço ao túmulo” (cradle-to-grave). Estudos com fronteira berço-ao-portão concentram-se principalmente nas etapas de produção agrícola e processamento industrial, enquanto avaliações berço-ao-túmulo incorporam também as fases de distribuição, consumo e gestão de resíduos. Essa escolha depende, em grande medida, do objetivo do estudo e da disponibilidade de dados ao longo da cadeia produtiva.

Quanto aos métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), destacam-se o uso dos métodos ReCiPe e CML, amplamente utilizados em estudos ambientais devido à sua robustez metodológica e ampla aplicação em bancos de dados internacionais. Outros métodos e abordagens complementares também foram identificados, como CED (Demanda Cumulativa de Energia), CExD (Exergia de Recursos) e Environmental Footprint, demonstrando a diversidade de ferramentas disponíveis para análise do desempenho ambiental de sistemas alimentares.

As categorias de impacto ambiental mais frequentemente avaliadas nos estudos revisados incluem mudanças climáticas (pegada de carbono), acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, uso da terra e consumo de água. Entre essas, o aquecimento global ou mudanças climáticas aparece como a categoria mais recorrente na literatura, refletindo a crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de alimentos. Além disso, diversos estudos apontam que as etapas agrícolas e o uso de insumos, como fertilizantes, energia e transporte, costumam representar uma parcela significativa dos impactos ambientais em cadeias agroalimentares. Em sistemas de panificação, a produção de ingredientes, o consumo energético durante o processamento e a gestão de resíduos alimentares também aparecem como pontos críticos (hotspots) relevantes. Outro aspecto observado é a ampliação do escopo dos estudos de ACV no setor alimentício, incluindo abordagens que analisam desperdício de alimentos, eficiência energética, estratégias de economia circular e valorização de resíduos, como no caso da produção de biogás a partir de subprodutos da mandioca ou do reaproveitamento de resíduos de panificação.

De forma geral, a análise dos estudos apresentados na Tabela X evidencia que a Avaliação do Ciclo de Vida tem sido amplamente utilizada como ferramenta para compreender e reduzir os impactos ambientais de sistemas alimentares. No entanto, observa-se que ainda são limitados os estudos aplicados especificamente a produtos derivados da mandioca no contexto da panificação, o que reforça a relevância de investigações que

integrem ingredientes da sociobiodiversidade, cadeias curtas de abastecimento e sistemas alimentares locais.

Nesse contexto, a aplicação da ACV ao pão de mandioca produzido em arranjos produtivos locais pode contribuir para ampliar o conhecimento sobre o desempenho ambiental desse produto, além de apoiar estratégias de produção alimentar mais sustentáveis e territorialmente contextualizadas.

4. ARTIGO: *Avaliação do ciclo de vida da produção de pão de mandioca em sistemas agroecológicos de agricultura familiar*

1. Introdução

A produção e o consumo de alimentos estão entre as principais atividades responsáveis por pressões ambientais globais, abrangendo desde a emissão de gases de efeito estufa até a intensificação do uso de recursos naturais como solo e água (Djekic et al., 2018). O aumento populacional, aliado à intensificação de padrões de consumo, torna ainda mais urgente a adoção de estratégias de produção sustentável capazes de conciliar segurança alimentar e conservação ambiental (Ericksen, 2008). Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem se consolidado como uma das principais ferramentas para identificar pontos críticos, comparar cenários e apoiar a tomada de decisão em sistemas agroalimentares (Silva e Sanjuan, 2019).

A literatura demonstra que a panificação, embora fundamental do ponto de vista nutricional e econômico, apresenta impactos ambientais expressivos relacionados ao uso intensivo de energia, matérias-primas e geração de resíduos (Albuquerque et al., 2016). Estudos com o pão francês, por exemplo, revelam que a etapa agrícola do trigo e o forneamento se destacam como fases críticas do ciclo de vida, demandando estratégias de mitigação para redução de desperdícios e emissões (Goucher et al., 2017; Albuquerque et al., 2016). De forma mais ampla, análises em produtos agrícolas reforçam a importância de práticas contextualizadas, considerando as especificidades socioeconômicas e ambientais de cada região (Pelletier, 2014).

Nesse cenário, a substituição ou complementação de matérias-primas tradicionais por insumos locais e agroecológicos surge como alternativa estratégica. A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), amplamente cultivada pela agricultura familiar brasileira, reúne atributos que a tornam promissora para a panificação: resiliência em condições adversas, relevância cultural e potencial de diversificação de renda (Linhares et al., 2014; Alves et al., 2022). Incorporada à produção de pães, a mandioca representa não apenas um ingrediente alimentar, mas um vetor de valorização de práticas agroecológicas e de fortalecimento de economias locais.

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar os impactos ambientais associados à produção artesanal de pão de mandioca em contexto de agricultura familiar e agroecologia,

tomando como referência o caso do Assentamento Santa Irene, na Bahia. Para isso, aplica-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, a fim de mapear fluxos de matéria e energia, identificar hotspots ambientais e discutir oportunidades de melhoria. Busca-se, assim, contribuir para o debate sobre sustentabilidade na panificação, aproximando a análise científica da realidade produtiva de comunidades rurais.

2. Materiais e métodos

2.1. Caracterização do processo de produção do pão de mandioca

O processo de produção do pão de mandioca analisado neste estudo é realizado na agroindústria comunitária da Associação de Mulheres do Projeto de Assentamento Santa Irene (AMPASSI), situada no município de Gongogi – BA. A produção ocorre de forma predominantemente artesanal, em pequena escala, integrando características do sistema agroecológico local e do trabalho coletivo de mulheres rurais. A mandioca utilizada na formulação do pão é proveniente das áreas cultivadas pela associação em sistema agroecológico diversificado, sem o uso de agrotóxicos ou fertilizantes sintéticos, o que influencia diretamente o perfil ambiental do produto avaliado.

Após a colheita, as raízes são transportadas para a agroindústria, onde passam pelas etapas de seleção, lavagem, descascamento e corte. A mandioca processada é então submetida ao cozimento, etapa que facilita sua incorporação à massa panificável e contribui para a textura característica do pão. Todo o preparo é realizado utilizando utensílios e equipamentos simples, incluindo painéis industriais e superfícies de aço inoxidável, garantindo condições adequadas de higiene e padronização.

A etapa de formulação envolve a combinação da mandioca cozida com outros ingredientes típicos de panificação, como farinha, fermentos, ovos e óleo ou gordura vegetal. Embora os ingredientes básicos sejam comuns, a proporção utilizada pela associação, mantida sob sigilo interno por questões de propriedade produtiva, resulta em um produto final com características sensoriais e funcionais específicas, entre elas maciez, leve dulçor e coloração mais amarelada. Essa etapa é seguida pela mistura ou sova da massa, processo realizado manualmente ou com auxílio de masseiras, a depender da escala de produção do dia.

A panificação segue o método tradicional de duas fermentações. Na primeira, a massa é deixada em repouso em ambiente protegido até atingir crescimento adequado. Após essa etapa, os pães são divididos, modelados e novamente deixados para fermentar. O assamento

ocorre em forno a gás, equipamento que representa uma das principais fontes de energia direta do processo. Além do GLP utilizado no forno, a agroindústria emprega energia elétrica para acionamento de equipamentos e beneficia-se de um sistema de energia solar fotovoltaica já instalado, reduzindo a dependência de fontes convencionais e contribuindo para menor impacto ambiental associado ao processamento.

Após assados, os pães passam por uma etapa de resfriamento natural antes de serem embalados em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD). Esse material é escolhido por sua leveza, transparência e baixo custo, embora sua reciclabilidade dependa da infraestrutura municipal. A etapa produtiva também gera resíduos orgânicos, principalmente cascas e partes não aproveitáveis das raízes de mandioca, que podem ser reaproveitados como insumo agrícola ou compostados, dependendo da dinâmica da associação.

Em termos nutricionais, o pão de mandioca apresenta um perfil interessante tanto para consumidores quanto para pesquisadores. Observamos na figura 1, que em porção de 50 g, o produto fornece 146 kcal, valor energético semelhante ao de pães convencionais, demonstrando que a inserção da mandioca não compromete o aporte calórico, mas diversifica a origem dos carboidratos. A presença de 30 g de carboidratos por porção acompanha a expectativa para produtos de panificação, porém com potencial contribuição diferenciada em função do amido da mandioca, conhecido por promover textura macia e digestibilidade moderada. Os 5,1 g de açúcares totais refletem a adição de açúcar na formulação, mas permanecem em níveis compatíveis com padrões de panificação artesanal.

Figura 1: Composição nutricional do pão de mandioca.

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL			
Porção: 50 g (1 unidade inteira)			
	100 g	50 g	%VD*
Valor energético (kcal)	293	146	7
Carboidratos (g)	60	30	10
Açúcares totais (g)	10	5,1	
Açúcares adicionados (g)	10	5	10
Proteínas (g)	6,3	3,2	6
Gorduras totais (g)	3,1	1,5	2
Gorduras saturadas (g)	0,7	0,3	2
Fibras alimentares (g)	2	1	4
Sódio (mg)	239	120	6
Não contém quantidades significativas de gorduras trans.			
*Percentual de valores diários fornecidos pela porção.			

O teor proteico (3,2 g por 50 g) é inferior ao observado em pães elaborados majoritariamente com trigo, mas adequado para produtos mistos com base em raízes. Já o baixo teor de gorduras totais (1,5 g) e saturadas (0,3 g) é um ponto positivo do produto, indicando formulação com quantidades moderadas de lipídios e boas práticas de preparo. O conteúdo de fibras (1 g por porção) contribui modestamente para o consumo diário recomendado, mas representa vantagem em relação a pães altamente refinados. O teor de sódio (120 mg por 50 g), embora adequado, reforça a importância de moderação, considerando que pães costumam ser uma das principais fontes de sódio na dieta.

Essas características nutricionais, somadas ao processo produtivo baseado em ingredientes agroecológicos e práticas de baixo nível de mecanização, resultam em um alimento que integra aspectos culturais, sociais e ambientais do território. A caracterização detalhada do processo, incluindo etapas, insumos, energia, resíduos gerados e atributos nutricionais, foi essencial para a construção do inventário e para a coerência metodológica aplicada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

2.2. Avaliação do Ciclo de Vida

Este estudo foi conduzido de acordo com a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, utilizando uma abordagem atribucional do tipo *cradle-to-gate* (do berço ao portão), em conformidade com as normas ISO 14040 e ISO 14044. O procedimento compreende quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

2.2.1. Objetivo e escopo

Este estudo tem como objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais do pão de mandioca produzido em sistemas agroecológicos pela Associação de Mulheres do Projeto de Assentamento Santa Irene (AMPASSI), uma cooperativa de agricultura familiar localizada em Gongogi-BA. A pesquisa foi motivada pela necessidade de compreender as consequências ambientais das atividades produtivas e de fornecer informações que possam subsidiar a tomada de decisão interna, promover melhorias no processo produtivo e comunicar o desempenho ambiental a gestores do setor e pesquisadores.

O escopo do estudo incluiu todas as etapas, desde o cultivo da mandioca até o processo de panificação. A função do sistema de produto foi definida como a fabricação de pão de mandioca para comercialização. A unidade funcional adotada foi de 1 kg de pão,

refletindo a função do sistema e permitindo a comparação com estudos semelhantes. O fluxo de referência foi de 0,272 kg de mandioca cozida, quantidade necessária para produzir a unidade funcional estabelecida.

Foram considerados critérios de relevância em massa, energia e significância ambiental para a inclusão dos fluxos no inventário. Aqueles cuja contribuição cumulativa fosse inferior a 1% do total do sistema foram excluídos, desde que tal remoção não comprometesse os resultados do estudo.

2.2.2. Inventário do ciclo de vida

Os dados sobre a fabricação do pão foram obtidos por meio do acompanhamento do processo produtivo e de registros documentais da associação. Na ausência de dados primários, foram consultados a base de dados da Agribalyse versão 3.1.1 e a literatura como fontes de informações secundárias.

Os dados primários foram validados por meio de verificação de consistência e balanços de massa, enquanto para os secundários priorizou-se fontes de reconhecida representatividade. A completude do inventário foi assegurada por meio da rastreabilidade de todos os fluxos elementares significativos, garantindo que todas as entradas e saídas relevantes do sistema de produto fossem consideradas na análise.

Os procedimentos para obtenção dos dados de entradas, saídas e fluxos intermediários do sistema de produto, referentes a fabricação do pão estão detalhados na Tabela

Tabela 1: Inventário da fabricação de 1 kg de pão de mandioca

Entrada/Saída	Insumo/Serviço	Unidade	Quantidade	Processo de coleta de dados
Entradas				
<i>Produção de pão</i>	Farinha de trigo	kg	0,484	Registros internos de produção da associação.
	Mandioca	kg	0,400	
	Açúcar	kg	0,091	
	Água	m ³	0,091	
	Ovos	kg	0,024	
	Gordura vegetal	kg	0,024	
	Fermento biológico	kg	0,009	
	Sal	kg	0,005	
	Energia elétrica	kWh	0,168	Para calcular o consumo de energia elétrica em kWh (E), foi realizado o levantamento das potências (P) e dos tempos de funcionamento (t) dos motores elétricos dos equipamentos utilizados, conforme a Equação 1: $E = P \times t$.
	Energia solar fotovoltaica	kWh	0,029	Valor obtido por meio do aplicativo do sistema de energia solar fotovoltaico.
	Gás	kg	0,010	Registros internos de produção da associação.
	Embalagem (PEBD)	kg	0,012	A massa das embalagens foi determinada pela pesagem do material, seguida da multiplicação pelo número de unidades utilizadas.
<i>Transporte</i>	Ingredientes e embalagens	tkm	0,015	As distâncias entre os locais de fornecimento dos ingredientes e das embalagens foram obtidas a partir dos registros internos da associação e complementadas com medições realizadas por meio da ferramenta Google Maps.
Saídas				
<i>Produto</i>	Pão de mandioca	kg	1,000	Registros internos de produção da associação.
	Resíduo orgânico	kg	0,128	

2.2.3. Avaliação do impacto

Para conduzir a avaliação de impacto, utilizou-se o método ReCiPe 2016 MidPoint, modelo hierárquico (H), por meio do software OpenLCA versão 2.2 (Huijbregts et al., 2016). A seleção das categorias de impacto foi realizada de acordo com o objetivo do estudo e as particularidades do sistema de produto analisado, considerando as principais pressões ambientais associadas ao cultivo da mandioca e ao processo de panificação. As categorias de impacto selecionadas, com seus respectivos indicadores, foram as seguintes:

- Aquecimento Global (AG): Avalia o aumento da temperatura média global decorrente da elevação na concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, que intensificam a força radioativa do planeta. O impacto é expresso em quilogramas de dióxido de carbono equivalente (kg CO₂ eq) e considera os efeitos sobre a saúde humana e os ecossistemas.
- Consumo de Água (CA): Quantifica a retirada de água de fontes naturais, considerando características regionais e a disponibilidade hídrica local. O consumo de água divide-se em duas categorias principais: verde, que incorpora água da chuva utilizada em produtos ou processos, e azul, que envolve a extração de água de fontes superficiais ou subterrâneas. O impacto é expresso em metros cúbicos (m³) e reflete a redução da disponibilidade de água para seres humanos e ecossistemas.
- Acidificação Terrestre (AT): Mede o aumento da acidez do solo causadas pela deposição atmosférica de substâncias como sulfatos, nitratos e fosfatos. Os resultados são expressos em quilogramas de dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂ eq). Esse processo pode prejudicar a fertilidade do solo e afetar negativamente os ecossistemas terrestres.
- Eutrofização de Águas Doces (ED) e Marinhas (EM): Avalia o aumento de nutrientes em ambientes aquáticos, especialmente nitrogênio e fósforo, que estimulam o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, afetando as populações de peixes e, em última instância, resultando em perda de biodiversidade. A ED é expressa em quilogramas de fósforo equivalente (kg P eq) e a EM em quilogramas de nitrogênio equivalente (kg N eq).
- Ecotoxicidade de Água Doce (EcD), Marinha (EcM) e Terrestre (EcT): Refere-se ao potencial de substâncias químicas, biológicas ou físicas causarem efeitos tóxicos sobre os ecossistemas. Os resultados para todas as categorias de ecotoxicidade são expressos em quilogramas de 1,4-diclorobenzeno (kg 1,4-DCB), diferenciando-se pelo compartimento ambiental receptor (água doce, água marinha ou solo).

2.2.4. Interpretação

A fase de interpretação foi conduzida conforme as diretrizes da norma, contemplando a identificação dos aspectos mais relevantes do sistema e a verificação da completude (para assegurar a inclusão de todos os dados necessários), da sensibilidade (para avaliar a influência das variáveis nos resultados) e da consistência (para garantir a coerência metodológica em todas as etapas). Por fim, foram elaboradas conclusões e recomendações voltadas à melhoria do desempenho ambiental do processo avaliado.

3. Resultado e discussão

Os resultados da ACV para 1 kg de pão de mandioca mostram, de forma consistente, que as etapas agrícolas, principalmente a mandioca, e as matérias-primas são os principais responsáveis pelos impactos ambientais avaliados, especialmente em categorias como Aquecimento Global (AG), Consumo de Água (CA), Ecotoxicidade e Eutrofização, enquanto as etapas de processamento e embalagem têm contribuição menor.

Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que a produção de 1 kg de pão de mandioca gera um total de 0,84346 kg CO₂ eq na categoria de Aquecimento Global, valor que se encontra dentro da faixa observada em estudos de panificados artesanais e industriais. Esse resultado indica que, embora o produto analisado utilize ingredientes de base agrícola e seja produzido em pequena escala, o impacto climático permanece fortemente influenciado pelo cultivo das matérias-primas, especialmente a mandioca e a farinha de trigo. Essa tendência corresponde ao que é relatado no estudo de sistemas orgânicos e convencionais de trigo, no qual a maior parte do impacto climático é atribuída à etapa agrícola, principalmente ao uso do solo e às emissões de campo (Verdi et al., 2022).

Tabela 2: Contribuição total das categorias para o potencial impacto ambiental na fabricação de 1 kg de pão de mandioca

Categoria	Unidade	Pão de mandioca
Aquecimento Global (AG)	kg CO ₂ eq	0,84346
Consumo de Água (CA)	m ³	0,04418
Acidificação Terrestre (AT)	kg SO ₂ eq	0,00746
Eutrofização de Água Doce (ED)	kg P eq	0,00020
Eutrofização Marinha (EM)	kg N eq	0,00126
Ecotoxicidade de Água Doce (EcD)		0,04397
Ecotoxicidade Marinha (EcM)		0,05363
Ecotoxicidade Terrestre (EcT)	kg 1,4-DCB	4,42628

Entre todas as categorias avaliadas, a Ecotoxicidade Terrestre apresentou o maior valor absoluto (4,42628 kg 1,4-DCB eq), destacando-se de forma expressiva em comparação às demais categorias. Essa magnitude elevada sugere que as emissões ao solo associadas ao cultivo da mandioca são determinantes no resultado global. Em culturas de raízes como a mandioca, fatores como manejo do solo, lixiviação, erosão, emissões de substâncias naturalmente presentes no solo e práticas de capina influenciam diretamente indicadores de ecotoxicidade. Estudos sobre cadeia produtiva de mandioca e derivados mostram que o manejo agrícola tende a ser o principal fator de ecotoxicidade, superando inclusive etapas industriais, como verificado na ACV da cadeia de fécula e chips de mandioca na Malásia (Lansche J, Awiszus S, Latif S, Müller J.2020).

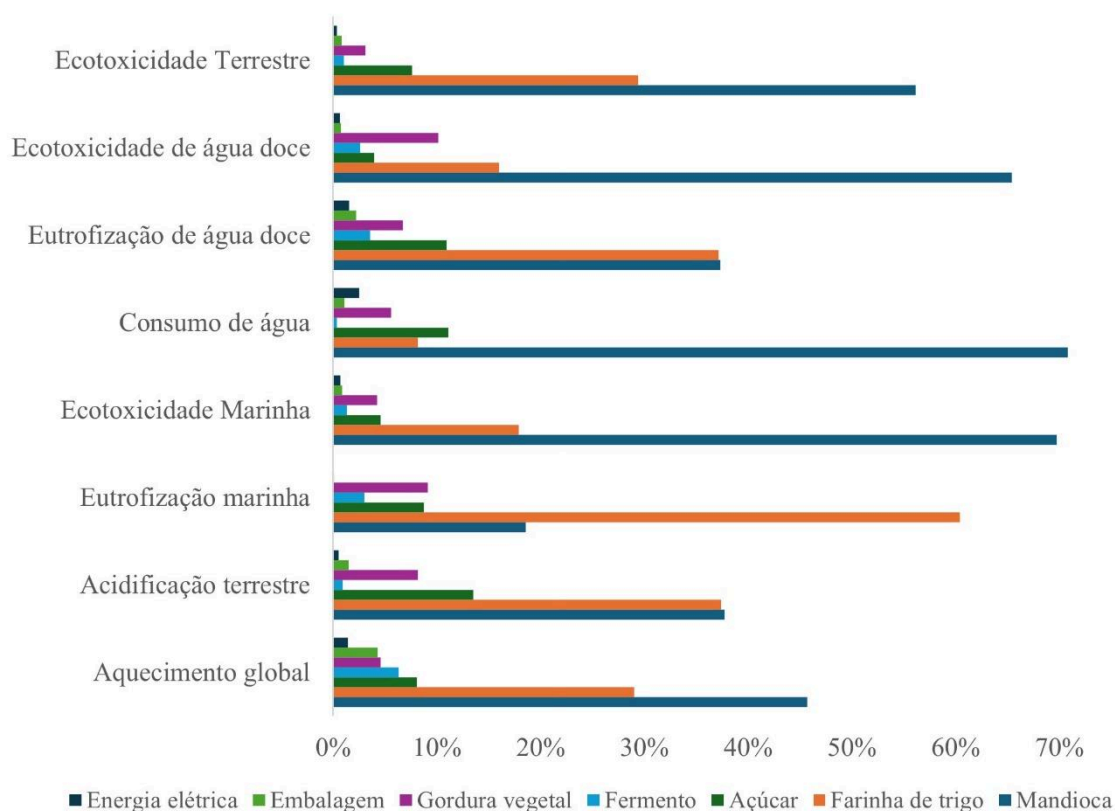
Além disso, o valor elevado de Ecotoxicidade Terrestre está alinhado com a literatura que analisa comparações entre sistemas de cultivo. Mesmo em sistemas agroecológicos, como o da AMPASSI, a produtividade reduzida pode elevar os impactos por unidade funcional. Isso ocorre porque, quando a produtividade é menor, a quantidade de área e esforços agrícolas necessários para gerar 1 kg de produto é maior, intensificando impactos relacionados ao uso do solo, exatamente como observado nos estudos que comparam trigo orgânico e convencional (Verdi et al., 2022).

De forma complementar, observa-se que as categorias de eutrofização e ecotoxicidade aquática também apresentam valores consideráveis. Isso pode estar relacionado a processos naturais de liberação de nutrientes do solo, ao uso de água no processo agrícola e à decomposição de matéria orgânica. Tais resultados dialogam com o estudo de resíduos da

indústria de mandioca, que demonstra que o manejo inadequado de subprodutos e efluentes pode ampliar esses impactos, e que soluções como biodigestão de resíduos podem reduzir significativamente as cargas ambientais associadas (Lansche J, Awiszus S, Latif S, Müller J.2020).

Em sistemas agrícolas tropicais, esses impactos podem ser intensificados pela dinâmica natural dos solos e pela decomposição acelerada da matéria orgânica, fatores que influenciam os fluxos de nitrogênio e fósforo no ambiente. Dessa forma, mesmo em sistemas agroecológicos com menor uso de insumos sintéticos, os processos ecológicos associados ao manejo do solo podem contribuir para emissões relevantes quando analisados em termos de unidade funcional. Esse fenômeno tem sido observado em diferentes sistemas agrícolas avaliados por ACV, nos quais a relação entre produtividade e uso do solo desempenha papel central na determinação do desempenho ambiental (Verdi et al., 2022).

Figura 2: Percentuais de contribuição para o potencial impacto ambiental na produção de 1 kg de pão de mandioca



Ao comparar esses resultados com estudos de ACV sobre pães de trigo, observa-se que a etapa agrícola costuma ser responsável pela maior parcela dos impactos, especialmente em categorias como aquecimento global, acidificação e eutrofização (Goucher et al., 2017). No caso do pão de mandioca, embora parte considerável da massa do produto seja oriunda de mandioca, a farinha de trigo ainda aparece como segundo maior contribuinte em diversas categorias, como Acidificação Terrestre (37,40%), Eutrofização Marinha (60,40%) e Ecotoxicidade Terrestre (29,42%).

Essa predominância do impacto agrícola é coerente com os achados do estudo True Cost Accounting for Food, Bread, que identifica que a produção de trigo, independentemente do sistema (convencional, extensivo ou orgânico), é o principal driver de impactos ambientais e de perdas de biodiversidade na cadeia do pão (Crosnier et al., 2025). No caso suíço, mesmo em sistemas orgânicos, os impactos por kg de produto podem ser superiores devido aos

menores rendimentos, fenômeno também observado em análises de trigo antigo (Verdi et al., 2022).

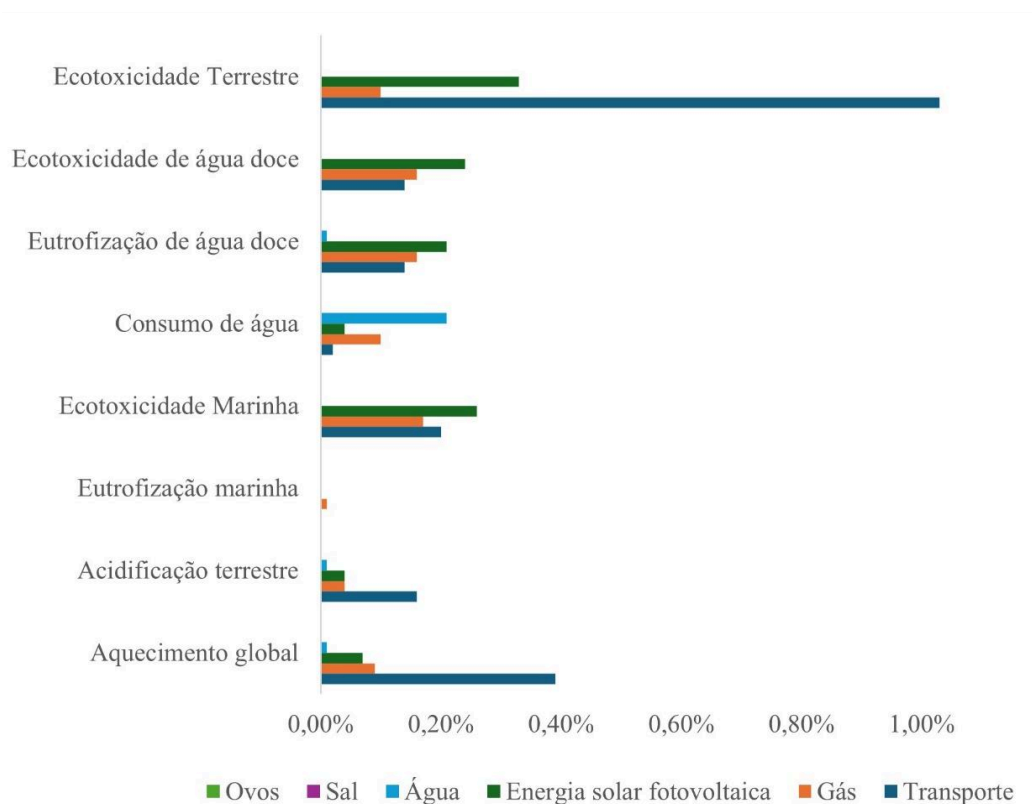
Apesar de o pão analisado conter mandioca produzida em sistema agroecológico, os impactos associados à sua produção ainda são expressivos. Isso pode ser explicado principalmente por dois fatores.

O primeiro refere-se ao baixo nível de mecanização e à dependência de processos manuais, característica comum em sistemas agroecológicos de agricultura familiar. Embora isso reduza o consumo energético direto, não elimina impactos relacionados ao uso do solo, emissões diretas e manejo agrícola.

O segundo fator está relacionado à produtividade do sistema produtivo. Conforme observado por Verdi et al. (2022), sistemas orgânicos ou agroecológicos tendem a apresentar maiores impactos quando expressos por kg de produto, devido às menores produtividades. Esse fenômeno é coerente com a mandiocultura agroecológica utilizada pela AMPASSI.

Esse aspecto ajuda a explicar por que a mandioca permanece como principal contribuinte em categorias sensíveis ao manejo do solo e às emissões de campo, como eutrofização e ecotoxicidade, enquanto a farinha de trigo, mesmo sendo ingrediente complementar, predomina em categorias associadas à cadeia global de insumos, como acidificação marinha e eutrofização marinha.

Figura 3: Percentuais de contribuição para o potencial impacto ambiental na produção de 1 kg de pão de mandioca



As contribuições da etapa de panificação, incluindo energia elétrica, gás e operação dos equipamentos, foram baixas (<3% em todas as categorias). Esse resultado contradiz parcialmente estudos de panificação tradicional, nos quais o forneamento e a energia para processamento aparecem como etapas críticas (Albuquerque et al., 2016).

A divergência pode ser atribuída a três características do sistema analisado: uso de energia solar fotovoltaica, reduzindo o impacto do consumo elétrico; equipamentos artesanais de menor potência, com ciclos curtos; produção em pequena escala, diluindo o consumo energético por unidade de massa. Esse comportamento aproxima-se dos achados de Crosnier et al. (2025), que evidenciam que, na cadeia do pão, os impactos agrícolas superam consistentemente os impactos industriais.

Mesmo apresentando contribuição relativamente pequena, a etapa de panificação ainda oferece oportunidades interessantes de melhoria ambiental. A contribuição da energia elétrica, (energia elétrica $\approx 0,168$ kWh por kg; presença de energia solar fotovoltaica registrada), o que reduz a relevância da etapa de panificação frente à etapa agrícola. Contudo, o estudo sobre o processamento de mandioca mostra uma oportunidade clara: a utilização de resíduos de processamento (pulpas, folhas) para produção de biogás e substituição de energia

convencional pode gerar reduções ambientais importantes, com estimativas de redução do CED em ~28%, DEF ~15% e GWP ~21% no cenário industrial/avançado quando créditos do biogás são contabilizados (substituição de eletricidade/process-heat). Aplicado na produção artesanal no assentamento, a integração de biodigestão de resíduos orgânicos poderia reduzir a pegada energética do processamento e, assim, diminuir parcela residual dos impactos atribuídos à etapa de panificação.

Praticamente: mesmo que a energia não seja o hotspot principal, a integração local de um pequeno sistema de biogás (alimentado com resíduos de preparo e sobras de mandioca) pode gerar benefícios concretos, redução de consumo de rede, menor emissão de GEE ligada à geração de eletricidade a partir da rede, e redução do volume de resíduos orgânicos a ser gerido. (Lansche J, Awiszus S, Latif S, Müller J.2020).

As categorias de eutrofização, tanto doce quanto marinha, seguem tendência semelhante ao estudo de Verdi et al. (2022), no qual fertilizantes nitrogenados e fosfatados em sistemas convencionais são responsáveis pelos maiores impactos nessas categorias. No caso do pão de mandioca, embora a produção agroecológica reduza o aporte externo de N e P, a mandioca ainda apresenta elevada contribuição relativa, indicando que as emissões de campo e o uso do solo são mais relevantes que o uso de fertilizantes químicos.

Além disso, a farinha de trigo se destaca especialmente na eutrofização marinha, refletindo os impactos típicos da agricultura convencional ou semi-intensiva, conforme discutido por Crosnier et al. (2025).

De maneira geral, a análise integrada dos resultados evidencia uma clara predominância das etapas agrícolas no perfil ambiental do produto. A mandioca é o principal hotspot em 6 das 8 categorias, especialmente devido à relação entre uso do solo, produtividade e emissões biogênicas. A farinha de trigo domina as categorias relacionadas a nutrientes reativos (N e P) e toxicidade terrestre, coerente com a literatura sobre produção de trigo. Outros ingredientes têm impactos marginais, com contribuições inferiores a 10% na maioria das categorias. Energia e combustíveis representam impactos residuais, muito inferiores aos de estudos industriais.

Esse padrão confirma que estratégias de melhoria devem priorizar a etapa agrícola, principalmente: melhoria da eficiência produtiva da mandioca em sistemas agroecológicos; redução da dependência de farinha de trigo; fortalecimento de práticas regenerativas no cultivo; avaliações comparativas com cenários alternativos (100% mandioca, variedades melhoradas, etc.). Essas conclusões se alinham à necessidade, defendida por Crosnier et al.

(2025), de integrar produtividade, biodiversidade e impactos ambientais para compreender o verdadeiro desempenho da cadeia de panificação.

Integrando os resultados com os estudos existentes a mensagem principal é clara: a etapa agrícola (mandioca) é o ponto crítico e deve nortear intervenções; contudo, há ganhos tangíveis e complementares ao explorar economia circular local (biodigestão de resíduos) e ao revisar a cadeia de fornecimento da farinha de trigo. Ademais, as lições de comparações orgânico × convencional lembram que aumentar produtividade sem perder os ganhos ambientais locais é o caminho mais robusto para reduzir impactos por kg produzido.

Em síntese, os resultados evidenciam que o desempenho ambiental do pão de mandioca é fortemente condicionado pelas características do sistema agrícola utilizado para produção da matéria-prima. Embora sistemas agroecológicos apresentem vantagens relacionadas à redução do uso de insumos externos e à conservação ambiental, a menor produtividade pode aumentar impactos quando expressos por unidade de produto. Dessa forma, estratégias de melhoria devem buscar equilibrar produtividade, conservação do solo e eficiência no uso de recursos, de modo a fortalecer a sustentabilidade da cadeia produtiva da mandioca e dos produtos derivados.

4. Conclusão

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção de 1 kg de pão de mandioca realizada neste estudo permitiu identificar os principais hotspots ambientais do sistema produtivo desenvolvido pela AMPASSI, destacando a etapa agrícola como o componente de maior contribuição para os impactos totais. Entre todas as categorias avaliadas, observou-se que a mandioca é o ingrediente que mais influencia o desempenho ambiental do produto, com contribuições elevadas em Aquecimento Global, Consumo de Água, Ecotoxicidade e Eutrofização. Esse comportamento está associado ao uso do solo, às emissões biogênicas e às práticas de manejo características de sistemas agroecológicos, além da sensibilidade das categorias de impacto à produtividade agrícola.

Esse padrão é consistente com estudos de ACV aplicados a produtos de panificação, nos quais a etapa agrícola frequentemente representa a maior contribuição para categorias de impacto como aquecimento global, acidificação e eutrofização. Avaliações conduzidas com pães derivados do trigo demonstram que o cultivo da matéria-prima é responsável por parcela significativa dos impactos ambientais do produto, principalmente devido ao uso do solo e às

emissões associadas às atividades agrícolas (Goucher et al., 2017). De forma semelhante, análises recentes sobre a cadeia do pão evidenciam que a produção agrícola permanece como o principal driver de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto (Crosnier et al., 2025).

A farinha de trigo, embora presente em menor proporção na formulação, também se mostrou relevante em categorias como Acidificação Terrestre, Eutrofização Marinha e Ecotoxicidade Terrestre, refletindo os impactos intensivos típicos do cultivo do trigo, conforme apontado na literatura. A etapa de processamento, incluindo energia elétrica, gás e energia solar fotovoltaica, apresentou contribuições relativamente pequenas, o que reforça que a sustentabilidade do produto depende principalmente das práticas agrícolas e não das etapas industriais.

A relevância da farinha de trigo nessas categorias de impacto está associada ao caráter intensivo do cultivo desse cereal em muitos sistemas produtivos. O uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, aliado às emissões indiretas de nutrientes para corpos d'água, contribui para impactos relacionados à eutrofização e à acidificação ambiental. Conforme discutido na literatura sobre produção de pão, essas pressões ambientais estão diretamente ligadas às práticas agrícolas utilizadas no cultivo do trigo, sendo frequentemente responsáveis por parte expressiva dos impactos ambientais do produto final. A identificação desses hotspots ambientais evidencia a importância de intervenções estratégicas ao longo da cadeia produtiva. A literatura aponta que melhorias no desempenho ambiental de sistemas agroalimentares dependem da integração entre práticas agrícolas sustentáveis, gestão eficiente de recursos e valorização de subprodutos do processamento. Nesse contexto, a aplicação da ACV permite identificar pontos críticos e orientar decisões voltadas à redução de impactos ambientais sem comprometer a viabilidade econômica dos sistemas produtivos. A análise integrada dos resultados confirma que melhorias significativas no desempenho ambiental do pão de mandioca devem priorizar estratégias voltadas para o cultivo da matéria-prima principal. Entre as ações mais promissoras estão o aumento sustentável da produtividade da mandioca, o aperfeiçoamento do manejo do solo, o controle de erosão e a adoção de práticas agroecológicas de maior eficiência. Além disso, o aproveitamento energético de resíduos orgânicos por meio de biodigestão surge como uma alternativa viável para reduzir impactos associados à gestão de resíduos e ao consumo de energia externa.

Por fim, esta ACV evidencia a importância de sistemas de produção agroecológicos no fornecimento de alimentos saudáveis e culturalmente relevantes, mas também demonstra que tais sistemas necessitam de estratégias complementares para melhorar seu desempenho

ambiental por unidade de produto. Os resultados aqui obtidos fornecem subsídios para otimização da cadeia produtiva e oferecem base técnica para decisões de gestão, formulação de políticas públicas e desenvolvimento de tecnologias sociais voltadas à sustentabilidade na agricultura familiar. Além disso, estratégias relacionadas à economia circular e à eficiência energética podem contribuir para a redução adicional dos impactos ambientais do sistema. O aproveitamento de resíduos orgânicos da mandioca por meio de processos como compostagem ou biodigestão anaeróbia tem sido apontado como alternativa promissora para reduzir emissões e gerar insumos agrícolas ou energia renovável (Lansche et al., 2020). Paralelamente, melhorias logísticas na cadeia de fornecimento de ingredientes e a substituição parcial de insumos de maior impacto ambiental também podem contribuir para otimizar o desempenho ambiental de produtos de panificação.

5. Referências

- CROSNIER, A.; BAUDRY, G.; JEANGROS, L.; et al. **True Cost Accounting for Food application: Environmental, social and health impacts of bread.** *Journal of Cleaner Production*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146224>.
- DJEKIC, I.; SANJUAN, N.; CLEMENTE, G.; JAMBRAK, A. R.; DJUKIC-VUKOVIC, A.; BRODNJAK, U. V.; POP, E.; THOMOPOULOS, R.; TONDA, A. **Review on environmental models in the food chain – Current status and future perspectives.** *Journal of Cleaner Production*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.241>.
- ERICKSEN, P. J. **Conceptualizing food systems for global environmental change research.** *Global Environmental Change*, v. 18, n. 1, p. 234-245, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002>.
- GOUCHER, L.; BRUCE, R.; CAMERON, D. D.; KOH, S. C. L.; HORTON, P. **The environmental impact of fertilizer embodied in a wheat-to-bread supply chain.** *Nature Plants*, 3, p. 1–5, 2017. doi: 10.1038/nplants.2017.12.
- HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M.; ZIJP, M.; HOLLANDER, A.; VAN ZELM, R. **ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, p. 138–147, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.
- LANSCH, J.; AWISZUS, S.; LATIF, S.; MÜLLER, J. **Potencial da produção de biogás a partir de resíduos do processamento para reduzir os impactos ambientais da produção de amido e chips de mandioca, um estudo de caso da Malásia.** *Applied Sciences*, v. 10, n. 8, p. 2975, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10082975>.
- LULOVICOVA, A.; BOUISSOU, S. **Life cycle assessment as a prospective tool for sustainable agriculture and food planning at a local level.** *Geography and Sustainability*, v. 5, p. 251–264, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.01.008>.

PELLETIER, N.; IBARBARU-BLANC, M.; XIN, H. **Comparison of the U.S. egg industry's environmental footprint in 1960 and 2010.** *Poultry Science*, v. 93, p. 243-255, 2014.

SILVA, V. L.; SANJUÁN, N. **Opening up the Black Box: A Systematic Literature Review of Life Cycle Assessment in Alternative Food Processing Technologies.** *Journal of Food Engineering*, v. 250, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.010>.

VERDI, L.; DALLA MARTA, A.; FALCONI, F.; ORLANDINI, S.; MANCINI, M. **Comparison between organic and conventional farming systems using Life Cycle Assessment (LCA): A case study with an ancient wheat variety.** *European Journal of Agronomy*, v. 141, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126638>.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa evidenciam que a produção de pão de mandioca em contexto de agricultura familiar agroecológica apresenta potencial significativo para fortalecer sistemas alimentares locais, valorizar matérias-primas regionais e promover alternativas sustentáveis à panificação convencional baseada no trigo. No entanto, a Avaliação do Ciclo de Vida mostrou que a etapa agrícola permanece como o principal ponto crítico do sistema, especialmente devido ao uso do solo, às emissões de campo e à produtividade da mandioca. Assim, mesmo em sistemas agroecológicos, os impactos ambientais podem ser expressivos quando avaliados por unidade de produto.

A farinha de trigo, embora utilizada em menor quantidade, também demonstrou contribuição relevante em categorias associadas à cadeia global de insumos agrícolas, apontando para a necessidade de revisar gradualmente sua participação na formulação do pão ou buscar fornecedores com melhores indicadores de sustentabilidade. As etapas de processamento, energia e embalagem apresentaram impactos reduzidos, indicando eficiência relativa da agroindústria estudada e refletindo um modelo produtivo de pequena escala, com baixo nível de mecanização e uso complementar de energia fotovoltaica.

O estudo aponta diversos caminhos para a melhoria do desempenho ambiental do sistema, entre os quais se destacam o incremento da produtividade da mandioca por meio de manejo aprimorado e da adoção de variedades mais eficientes, bem como o fortalecimento de práticas regenerativas que contribuam para a melhoria das características do solo e para a redução de emissões biogênicas. Além disso, evidencia-se a necessidade de promover a redução gradual da dependência da farinha de trigo, por meio da experimentação de formulações alternativas e da análise de cenários com uso integral de mandioca. Soma-se a isso a importância da integração de estratégias de economia circular, com o aproveitamento de resíduos agrícolas e de panificação, bem como a consolidação do uso de fontes de energia renovável, especialmente por meio da ampliação do uso da energia solar já existente.

Ao integrar evidências científicas com a realidade produtiva da AMPASSI, esta dissertação contribui para o desenvolvimento de práticas mais ecoeficientes e fortalece o papel da agricultura familiar como agente de transformação sustentável no território. Além disso, fornece subsídios técnicos para processos de tomada de decisão, certificação socioambiental e políticas públicas voltadas à inclusão produtiva e segurança alimentar.

O estudo reforça que a sustentabilidade na cadeia do pão depende não apenas do processamento, mas sobretudo da forma como os ingredientes são cultivados. Nesse sentido,

ampliar o debate sobre alternativas regionais, produtividade agroecológica e melhoria contínua pode impulsionar modelos alimentares mais justos, resilientes e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS

- ABIP (Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria). A História do Pão. Disponível em: <http://www.abip.org.br/historiadopao2.asp>. 2007.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR ISO 14040:2009 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR ISO 14040:2009 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
- AGASSIZ, J. L. Viagem ao Brasil (1865-1866). Brasília: Senado Federal, 2000.
- ALBUQUERQUE, A. A.; MENDES, R. P.; AQUINO, G. D.; DUTRA, M.C. P .M.; LIMA, E. V.. Análise Do Ciclo De Vida Do Processo Produtivo Do Pão Francês: Estudo De Caso De Uma Panificadora Em São Luís-Ma. **XXIII Simpósio de Engenharia de Produção**, [s. l.], 2016.
- ALVES, G.I C.; GONÇALVES, G.; DA SILVA, J. O.; ROSSINI, M.R.; ASSAF, P. F.; FELICIANO, P. O.; NETO, R. S.. A importância sociocultural da mandioca no Brasil. **Ciências Básicas e o Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], 2022. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2022/anais/arquivos/RE_0479_0114_01.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.
- ANDRADE, Larissa Renata Santos et al. Oyster shell-based alkalization and photocatalytic removal of cyanide as low-cost stabilization approaches for enhanced biogas production from cassava starch wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 139, p. 47-59, 2020.
- BARLÉU, G. História dos feitos recentemente praticados durante oito anos no Brasil (1647). São Paulo: EDUSP, 1974.
- BRASIL. Lei n. 11.947, de 16 de junho de 2009. Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009.
- BRASIL. Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/conferencia/documentos/lei-de-seguranca-alimentar-e-nutricional>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- Cauvain, S. P. (2015). Baking Problems Solved. Woodhead Publishing.
- Cauvain, S.; Young, L. (2007). Technology of Breadmaking. Springer.
- CARDONA, Laëtítia et al. Co-digestion of wastewater sludge: Choosing the optimal blend. **Waste Management**, v. 87, p. 772-781, 2019.
- CONAB. Mandioca: raiz, farinha e fécula. **Conjuntura Mensal**, março 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/...> Acesso em: ago. 2022.
- CORREIA FILHO, H.; PONTE, M. X.; SOARES, S. R.. Avaliação do Ciclo de Vida da Farinha de Mandioca. **Revista Espacios**, [s. l.], 2017.

DE CARVALHO, Júlio Cesar et al. Biorefinery integration of microalgae production into cassava processing industry: Potential and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1165-1172, 2018.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193 p. (FAO-Irrigation and Drainage Paper n.33).

EMBRAPA. Cultivo, processamento e uso da mandioca: instruções práticas. Brasília, DF: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013.

EMBRAPA. Raíz & Fruto - Informativo da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Ano 26, n. 73, jan-jun 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/...> Acesso em: ago. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Mandioca. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>. Acesso em: 14 jun. 2025.

ESCARAMBONI, Bruna et al. Ethanol biosynthesis by fast hydrolysis of cassava bagasse using fungal amylases produced in optimized conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 368-377, 2018.

FAO. Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. [s.l: s.n.].

FANTKE, EP et al. USEtox ® 2.0 Documentation, 2017. <https://doi.org/10.11581/DTU:00000011>

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, 91(1), 1-21, 2009.

FIORDA, F.A.; SOARES JUNIOR, M.S. Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, 2013.

FUKUSHIMA, André Rinaldi et al. Cassava flour: Quantification of cyanide content. **Food and Nutrition Sciences**, v. 7, n. 07, p. 592, 2016.

GARCÍA, M.A., FLORENCIA, V., OLIVIA, V.L. Exploitation of by-products from cassava and ahipa starch extraction as filler of thermoplastic corn starch. **Composites Part B Engineering**, v.182, 107653, 2020.

GRASSINI, P. et al. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. **Field Crops Research**, v.179, p.150-163, 2015.

HENDLER, V. M. et al. Sociobiodiversidade e alimentação escolar. **Interações**, 22(3), 1033–1050, 2021.

HILDERSTEN, S. et al. Mapeamento do impacto climático da produção de pão de centeio na Suécia. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 9:1528862, 2025.

HUIJBREGTS, M.A.J. et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 22, 138–147, 2017.

IBGE. Produção de mandioca, ano base 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7832#resultado>. Acesso em: 14 jun. 2025.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Estatísticas Agropecuárias, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Setembro/2023 Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202309.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202309.pdf) Acesso em: 04 dez. 2025

- JIRAPRASERTWONG, A.; MAITRIWONG, K.; CHAVADEJ, S. Production of biogas from cassava wastewater. **Renewable Energy**, v.130, p.191-205, 2019.
- LINHARES, A. S; SANTOS, C. V. “A casa de farinha é a minha morada”: transformações e permanências na produção de farinha. **Agricultura Familiar**, v.10, p.53-66, 2014.
- LOISEAU, E. et al. Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 18, 1533–1548, 2013.
- LOWDER, S. K.; SÁNCHEZ, M. V.; BERTINI, R. Which farms feed the world. **World Development**, 142:105455, 2021.
- LULOVICOVA, A.; BOUISSOU, S. Life cycle assessment as a prospective tool. **Geography and Sustainability**, v. 5, p. 251–264, 2024.
- MACHADO, F. O.; MACHADO, K. M. C. O Empreendedorismo e o Negócio de Panificação. **Encontro de Estudo sobre Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas**, 2008.
- MARX, S. Cassava as feedstock for ethanol production. In: Bioethanol production from food crops. Academic Press, 2019.
- MENA-DURÁN, Cinthia J. et al. Preparation of metal-free electrocatalysts from cassava residues. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 43, n.6, p.3172-3179, 2018.
- MOREIRA, G.L.P. et al. Composição Bromatológica da Mandioca. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.1, 2017.
- NDAM, Yousahou Njankouo et al. Influence of cultivars and processing methods on cyanide contents. **Scientific African**, v.5, e00119, 2019.
- NOTARNICOLA, B. et al. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems. **Journal of Cleaner Production**, 140, 399-409, 2017.
- OKUDOH, Vincent et al. Cassava biomass for sustainable biogas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.39, p.1035-1052, 2014.
- PELLETIER, N.; IBARBARU-BLANC, M.; XIN, H. Comparison of U.S. egg industry’s environmental footprint. **Poultry Science**, 93:243-255, 2014.
- PERES, Sergio et al. Anaerobic digestion process for biogas production. **BioEnergy Research**, v.12, p.150-157, 2019.
- RAMOS, A. Introdução à antropologia brasileira. Rio de Janeiro: Casa do Estudante, 1943.
- ROOSEVELT, A. Paleo-indian cave dwellers in the Amazon. **Science**, v.272, n.5260, p.373-384, 1996.
- SAAB, W. G. L.; RIBEIRO, R. M.; GIMENEZ, L. C. P. Um panorama do segmento de padarias no Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2001.
- SAINT-HILAIRE, A. Viagem no interior do Brasil (1820). Curitiba: [s.n.], 1931.
- SAINT-HILAIRE, A. Segunda viagem ao interior do Brasil. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1936.
- SÁNCHEZ, Antonio Santos et al. Waste bio-refineries for the cassava starch industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.73, p.1265-1275, 2017.

- SENAR. Agroindústria de mandioca: farinha e fécula. Brasília, DF: SENAR, 2018.
- SILVA, J. V. et al. Revisiting yield gaps. **Agricultural Systems**, v.198, 2022.
- SOUSA, F. F. & PIRAUX, M. A construção social da qualidade da farinha. **Novos Cadernos NAEA**, 18(3):1999-222, 2015.
- TANAKA, K. et al. Production of high-concentration bioethanol from cassava stem. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.138, 2019.
- Tabela brasileira de composição de alimentos. NEPA-UNICAMP, 4.ed., 2011.
- VAN ITTERSUM, M.K. et al. Yield gap analysis with local to global relevance. **Field Crops Research**, v.143, p.4–17, 2013.
- VASCONCELOS, M. F. et al. Sem a mandioca nos roçados. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v.16, n.1, p.375-392, 2023.
- VERSINO, F.; URRIZA, M.; GARCÍA, M. A. Eco-compatible cassava starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.134, p.302–307, 2019.
- VISSES, F. A.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.B. Yield gap of cassava crop. **Food Security**, p.1191-1202, 2018.
- VIZOLLI, I.; MACHADO, R. F.; SANTOS, R.M.G. Saberes quilombolas. **Bolema**, v.26, n.42b, p.589-608, 2012.
- ZARE, L. et al. Estratégias eficazes para a produção de pão de trigo. **Food Measure**, 19, 5222–5241, 2025.
- ZEBALHO, Cleiton Simão et al. Fatores de manejo para altas produtividades de mandioca. Santa Maria: [s.n.], 2023. 88 p.

**APÊNDICE A - Formulário empregado para a coleta de dados referentes ao cultivo da
mandioca.**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

Origem dos dados

Empresa: _____

Localização: _____

Responsável pela produção: _____

Período de coleta: _____

Questionário

1. Informações gerais sobre a produção de aipim

1.1. Tamanho da propriedade

1.2. Área cultivada com aipim

1.3. Idade da plantação

1.4. Sistema de cultivo () Convencional () Orgânico () Outro: _____

1.5. Tipo de solo predominante

2. Produção de mudas e plantio

2.1. Origem do material propagativo (manivas)

2.2. Tratamentos realizados nas manivas antes do plantio

2.3. Espaçamento entre plantas e entre linhas

2.4. Quantidade plantada por hectare

2.5. Data de plantio

2.6. Utilização de máquinas no plantio? () Sim () Não

2.6.1. Tipo de máquina utilizada

2.6.2. Consumo de diesel mensal e tempo de uso anual

3. Tratos culturais

3.1. Informações sobre adubação de base

3.2. Adubação de cobertura

3.3. Tipo e quantidade de fertilizantes utilizados

3.4. Frequência de aplicação

3.5. Sistema de irrigação utilizado (se houver)

3.5.1. Origem da água

3.5.2. Frequência de irrigação

3.6. Controle de pragas e doenças? () Sim () Não

3.6.1. Quais pragas/doenças?

3.6.2. Como é feito o controle?

4. Colheita do aipim

4.1. Tempo entre plantio e colheita

4.2. É feita colheita manual ou mecanizada?

4.3. Volume médio colhido (ton/ha)

4.4. Período de colheita

4.5. Perdas durante a colheita? Qual percentual médio?

4.6. Transporte do aipim até a agroindústria

4.6.1. Distância percorrida

4.6.2. Tipo de transporte utilizado

5. Comercialização do aipim (caso aplicável)

- 5.1. Parte do aipim é vendida in natura? () Sim () Não
- 5.2. Volume comercializado mensalmente
- 5.3. Perfil dos compradores () Feira () Atacadista () Varejo () Outros
- 5.4. Preço médio por kg
- 5.5. Destino geográfico da comercialização

6. Cozimento e preparo do aipim para panificação

- 6.1. Quantidade de aipim utilizada por semana para a fabricação de pães
- 6.2. Como é feito o processamento inicial (lavagem, descascamento, corte)?
- 6.3. Tempo e método de cozimento
- 6.4. Equipamentos utilizados no cozimento
- 6.5. Após o cozimento, o aipim é: () Usado inteiro () Transformado em massa/purê
- 6.6. Por quanto tempo e temperatura o aipim cozido é refrigerado?

7. Fabricação de pães de aipim

- 7.1. Tipos de pães fabricados com aipim
- 7.2. Ingredientes básicos da formulação
- 7.3. Proporção média de aipim na massa (%)
- 7.4. Equipamentos utilizados na fabricação dos pães
- 7.5. Produção média diária (quantidade e peso total)
- 7.6. Há controle de qualidade da massa/pão?
- 7.7. Forma de embalagem dos produtos
- 7.8. Validade média do pão de aipim
- 7.9. Forma de conservação () Ambiente () Refrigerado
- 7.10. A produção é automatizada ou manual?
- 7.11. Há variação na receita ao longo do ano?
- 7.12. Para onde é destinada a produção (locais e tipo de comércio)?
- 7.13. Existe rastreabilidade da produção até a matéria-prima? () Sim () Não

8. Outras informações

- 8.1. Quais os principais desafios enfrentados na produção do pão de aipim?
- 8.2. Quais melhorias poderiam ser implementadas?
- 8.3. Existe produção de outros produtos com aipim? () Biscoitos () Bolos () Outros: _____
- 8.4. Deseja acrescentar mais alguma informação relevante?