



Análise do processo de fabricação do polvilho azedo em Conceição dos Ouros – Minas Gerais

Ana Carolina Alves Carvalho¹ e Flavio Adriano Bastos^{1,*}

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais

* Autor Correspondente: flavio.bastos@ifsuldeminas.edu.br

Recebido: 27/11/2023; Aceito: 14/03/2024

Resumo: O presente trabalho analisa o processo de fabricação do polvilho azedo em quatro empresas de médio e pequeno porte do município de Conceição dos Ouros, Minas Gerais, da extração do amido da mandioca até o produto final. Essa atividade produtiva, predominantemente artesanal, desempenha um importante papel econômico e social para o município. Essa pesquisa investigou as variações técnicas entre os fabricantes e seu impacto na qualidade do produto, visando contribuir para a compreensão das práticas de produção e desenvolver estratégias para melhorar os métodos de fabricação, assegurando a qualidade do produto final e promovendo o desenvolvimento sustentável e econômico da comunidade local. Os dados foram coletados por meio de visitas técnicas, aplicação de um *check list* e coleta de amostras de polvilho *in loco*. Foram analisadas as etapas de produção, incluindo a infraestrutura das empresas. As amostras de polvilho foram submetidas a análises de pH, acidez titulável e teste de expansão. Por meio da análise de variância, constatou-se que há diferenças entre as médias dos valores encontrados nos testes físico-químicos. Observou-se que, apesar das indústrias avaliadas possuírem práticas de produção similares, elas apresentam diferenças em infraestrutura e métodos, que podem ser a causa das diferentes propriedades encontradas no produto final. Além disso, não há nenhum controle de qualidade e, por isso, não apresentam um produto acabado padronizado. Dessa forma, destaca-se a necessidade de aprimoramento dos processos de fabricação do polvilho, bem como da implementação de um controle de qualidade mínimo que possa garantir a qualidade e a padronização do produto final.

Palavras-chave: Mandioca; *Manihot esculenta* Crantz.; Produção de Alimentos; Amido; Controle de Qualidade.

Analysis of the manufacturing process of cassava starch in Conceição dos Ouros – Minas Gerais

Abstract: This work analyzes the manufacturing process of cassava starch in four medium and small companies in the city of Conceição dos Ouros, Minas Gerais, from the removal of cassava starch to the final product. This productive activity, predominantly artisanal, plays an important economic and social role for the municipality. This research investigated technical variations between manufacturers and their impact on product quality, contributing to the understanding of production practices and developing strategies to improve manufacturing methods, ensuring the quality of the final product and promoting sustainable and economic development of the community local. Data were collected through technical visits, application of a checklist and collection of starch samples on site. The production stages, including the companies' infrastructure, were proven. The cassava starch samples were subjected to pH, titratable acidity and expansion tests. Through analysis of variance, it was found that there are differences between the average values found in the physical-chemical tests. It should be noted that, although the evaluations evaluated have similar production practices, they present differences in infrastructure and methods, which may be the cause of the different properties found in the final product. Furthermore, there is no quality control and, therefore, there is no standardized finished product. Therefore, the need to improve tapioca manufacturing processes stands out, as well as the implementation of a minimum quality control that can guarantee the quality and standardization of the final product.

Key-words: Cassava; *Manihot esculenta* Crantz.; Food production; Starch; Quality Control.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta nativa da América do Sul cultivada em todos os estados brasileiros e é um dos alimentos mais consumidos do mundo, devido à sua alta capacidade de adaptação climática e sua multiplicidade de uso (MARTINEZ, 2016), podendo ser utilizada diretamente *in natura* ou de forma indireta, na fabricação de amidos e farinhas. Além de servir como alimento básico, a fécula da mandioca (que é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais, como tubérculos, raízes e rizomas) é incorporada ao consumo de inúmeros produtos, como massas, biscoitos e fermento. Sua aplicação envolve também as indústrias de papel, colas, tintas, frigoríficos e também, na indústria atacadista, com o polvilho doce, azedo e farofas (BALBINO & LIMA, 2015).

A composição da raiz da mandioca, que varia conforme a espécie, as condições climáticas e o tempo de colheita, é de aproximadamente 0,1 a 0,5% de gordura; 1 a 3% de proteínas e 80 a 90% de carboidratos, dos quais 80% é amido, além de pequenas quantidades de sacarose, glicose, frutose e maltose (FERRARO et al., 2015).

A mandioca apresenta duas variedades, a mansa e a brava, sendo que a principal distinção entre elas está no seu teor de cianogênicos, provenientes dos glicosídeos linamarina e lotaustralina, ambos capazes de produzir o ácido cianídrico (HCN), onde a mansa apresenta concentrações menores do que 100 mg HCN/kg de produto e a brava, maiores do que esse valor (CHISTÉ & COHEN, 2008).

Devido ao seu alto índice de amido, a mandioca brava é utilizada na produção de polvilho (OLIVEIRA, 2013). O que difere o amido da mandioca em polvilho azedo, polvilho doce e fécula é a etapa de fermentação. Na fabricação do primeiro, a mandioca é submetida a um processo de fermentação natural, que é a principal e mais importante etapa para a sua produção (FERREIRA, 2022). Diante disso, o polvilho azedo é considerado um amido quimicamente modificado (MARCON et al., 2009). Suas principais características são seu sabor peculiar e seu poder de expansão quando levado ao forno, sem a necessidade de agentes levedantes (BRITO & CEREDA, 2017). Seu risco de envenenamento é baixo, pois durante o processamento industrial ou cozimento da raiz, ocorre a volatilização de grande parte do ácido cianídrico gerado (CHISTÉ & COHEN, 2008).

O processo de fabricação do polvilho azedo consiste na extração do amido da mandioca, onde ela é submetida a várias etapas como lavagem, descascamento, maceração e centrifugação, para a retirada do amido. Sua produção é realizada predominantemente por fábricas de pequeno e médio porte.

Estes processos apresentam diferenças quando se comparam os diferentes fabricantes. Em Conceição dos Ouros, eles ocorrem de forma majoritariamente artesanal, da moagem até a secagem. De extrema importância socioeconômica e cultural, sua produção representa uma fonte de renda relevante no município, empregando de forma direta e indireta cerca de três mil funcionários. Devido à elevada produção de polvilho, em média 13 a 15 mil toneladas por ano (CONCEIÇÃO DOS OUROS, 2022), o município conquistou o título de “Capital Nacional do Polvilho”.

Além de desempenhar um papel crucial como fonte fundamental de carboidratos na dieta humana e gerando empregos, especialmente em comunidades rurais, somada à versatilidade de uso, a mandioca é uma fonte valiosa de nutrientes essenciais e seu cultivo resistente a condições adversas favorece a segurança alimentar em regiões com recursos limitados. No aspecto social e cultural, a produção de mandioca preserva tradições e práticas locais, fortalecendo o senso de identidade e pertencimento das comunidades envolvidas. Portanto, este estudo não apenas amplia o conhecimento científico sobre uma cultura agrícola importante, mas também destaca sua relevância para a segurança alimentar, a diversificação econômica e a preservação cultural das comunidades produtoras.

1.1. Etapas do processo

A Figura 1 apresenta um fluxograma ilustrativo das etapas envolvidas no processo de fabricação do polvilho azedo.

A raiz da mandioca brava colhida nas lavouras é transportada até às fábricas e transferida para tanques de alvenaria, chamados de “caixas de mandioca”. Seu processamento deve ser realizado em torno de 48 horas, no máximo, devido a sua deterioração bacteriológica e/ou fisiológica após a retirada da raiz do solo (PASSOS et al., 2018). Com o auxílio de uma rosca helicoidal, a mandioca é conduzida para as etapas de lavagem e descascamento. Ambas são realizadas em um mesmo equipamento. Sua parte superior possui um tubo de PVC (Policloreto de vinila) onde há uma aspersão de água que auxilia nesse processo. Em seu centro estão localizadas pás giratórias que, ao se friccionarem com a mandioca, retiram sua sujidade e suas cascas (LIMA, 2001).

Com a lavagem e o descascamento das raízes, é gerado um efluente com alto teor de matéria orgânica, constituído de casca e entrecasca da mandioca, terra e água. Quando é reutilizada a água de outra etapa, esses

efluentes contém também a manipueira (“o que brota da mandioca”, em tupi-guarani), que é o resíduo líquido proveniente da extração e decantação do amido.

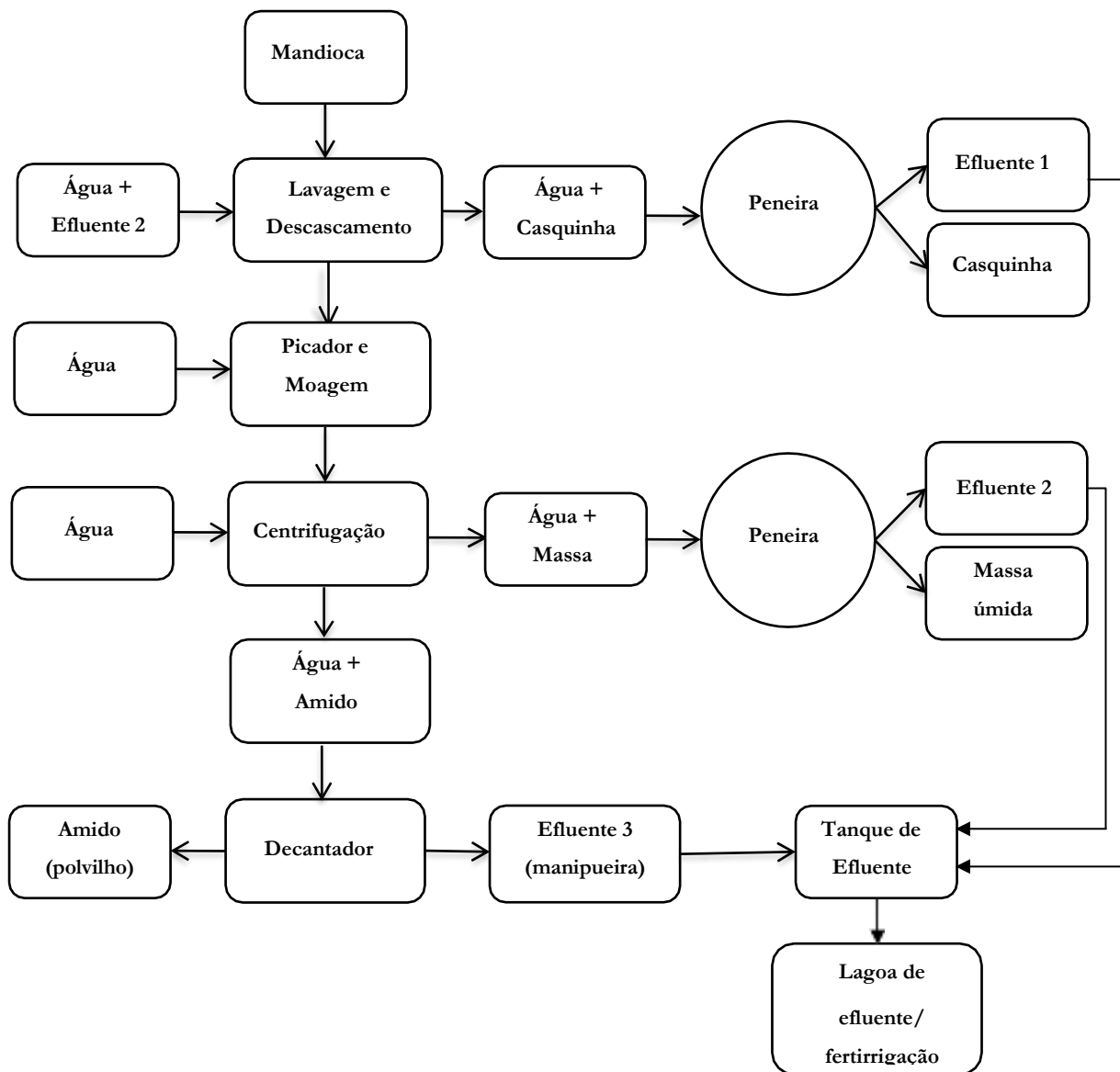


Figura 1. Fluxograma das etapas do processo de produção e descarte do polvilho azedo.

Esse efluente passa por uma peneira onde são separados os resíduos sólidos dos líquidos. Esse último, denominado de efluente 1, é direcionado para o tanque de efluentes e os resíduos retidos na peneira são secos e descartados. Normalmente, os resíduos sólidos, denominados de “casquinhas”, são utilizados como ração animal ou vendidas para esse fim.

Através de uma esteira, a mandioca descascada é transportada para a etapa de seleção e descarte, onde é verificada a presença de elementos como pedregulhos, galhos, etc. Então, a mandioca selecionada entra no picador (que auxilia no processo de redução do tamanho da sua raiz) e moedor (auxilia na sua desintegração, processo este importante para fazer a liberação dos grânulos do amido), juntamente com a água. Para a fragmentação da mandioca utiliza-se um equipamento conhecido como ralo, que se encontra dentro do moedor. Ele consiste em um equipamento cilíndrico de madeira, intercalado com serra de aço e movido por motores através de polias conectadas por correias.

Com a desintegração da raiz, é obtida uma massa fibrosa com amido e água. Para realizar a separação dessa mistura são usadas centrífugas que, através do seu movimento rotativo, efetuam a separação da massa, restando apenas água e amido. Essa suspensão é comumente chamada de leite de amido (SILVA, 2019). A massa de mandioca fica retida em telas de peneiração de poliamida (nylon), que se encontram dentro das centrífugas.

Com o auxílio de um motor elétrico, a mistura de massa fibrosa, água e amido são encaminhados para uma sequência de três centrífugas, contendo telas de nylon de diâmetros de 150, 120 e 60 μm , sucessivamente, proporcionando uma maior extração de amido e retendo mais fibras (LIMA, 2001). Quanto mais tempo o amido permanece na centrífuga, maior é sua pureza (DINIZ, 2006).

A massa fibrosa contida no processo de centrifugação é considerada como resíduo sólido desta etapa. Ela contém cerca de 80 % de umidade (LEONEL & CEREDA, 2000). A fim de se extrair o máximo de água possível do resíduo sólido, ela é bombeada para uma quarta centrífuga localizada em um depósito de massa, denominado como “maseira”. As empresas costumam vender as massas para alimentação ou fabricação de ração animal. Usualmente, elas são comercializadas úmidas. Porém, há compradores que as preferem secas. A secagem dessas massas deve ser feita em terrenos concretados, devido à sua água residual. Por fim, a água retida nessa etapa (efluente 2) é encaminhada diretamente para o tanque de efluentes devido ao seu teor de HCN.

O leite de amido, oriundo da centrifugação, passa por mais uma etapa de purificação, chamada peneiração. A peneira é uma estrutura de madeira vibratória que contém uma tela de nylon de 60 μm e o leite de amido recai sobre a tela retendo quaisquer impurezas restantes. Ele é então redirecionado a labirintos de alvenaria em forma de zigue-zague, conhecidos como decantadores (Figura 2). Neste local, a mistura de amido e água repousa algumas horas até a sedimentação do amido. Por fim, esse efluente é escoado para o tanque de efluentes.



Figura 2. Decantadores utilizados para a sedimentação do amido.

Devido à elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sua alta concentração de HCN, a manipeira é nociva ao meio ambiente e seu descarte inapropriado causa impactos ambientais sérios, como a eutrofização dos cursos de água, levando ao aumento do número de microrganismos e ao crescimento de algas (UME et al., 2020). Em virtude do elevado volume de água residual no processo de extração de amido, é exigido dos fabricantes um descarte correto desses efluentes.

Assim que a manipeira se encontra no tanque de efluentes, ela passa por um processo denominado de aeração, que consiste na utilização de aeradores para incorporar oxigênio no efluente. Com isso, o cianeto reage com o oxigênio formando o cianato e reduzindo suas características tóxicas (BARDINI, 2008). O efluente aerado é então bombeado para lagoas, onde é feita a infiltração pelo solo (Figura 3) ou utilizado na fertirrigação, como adubo orgânico, devido aos seus macronutrientes (SOARES, 2022). O lodo ativo oriundo desta etapa é descartado ou vendido para fabricação de cola.



Figura 3. Imagem aérea das lagoas onde os efluentes são descartados após a etapa de aeração.

Após ser purificado, o amido é transferido para os tanques de fermentação, onde são cobertos por uma camada de água, que impede a oxidação de sua superfície. A fermentação leva de 20 a 90 dias, dependendo da região e do clima (BRITO & CEREDA, 2017). Há produtores que fazem o uso de inóculos para reduzir o tempo de fermentação. O inóculo de polvilho é uma porção de amido fermentado adicionado a um novo amido de mandioca para iniciar o processo de fermentação. O processo fermentativo do amido está associado às bactérias ácido-láticas e aos microrganismos amilolíticos (que produzem enzimas capazes de degradar a amilose e a amilopectina do amido em unidades menores), sendo a eles atribuída a produção de ácidos orgânicos, em especial o ácido lático. Nos primeiros dias de fermentação, há uma diminuição de pH e formação de bolhas com odores característicos (AJALA et al., 2020).

Para o processo de secagem, o polvilho é retirado dos tanques de fermentação e passa por um esfarelador mecânico, com o propósito de diminuir seu tamanho, aumentando assim sua superfície de contato. Ele deixa os tanques de fermentação com cerca de 50% de umidade (POLA JÚNIOR, 2013). Essa etapa é realizada em jiraus, que são estruturas de madeira localizadas em ambiente externo.

Por mais artesanal que seja o processo de secagem, o método é responsável por sua principal característica. A secagem artificial não consegue proporcionar a mesma expansão obtida no polvilho seco ao sol (BRITO e CEREDA, 2017). A radiação ultravioleta do sol desempenha um papel fundamental nesse processo. O principal obstáculo à secagem do polvilho é a dependência das condições climáticas e por isso o seu tempo de secagem pode variar de acordo com clima e época do ano. Em geral, a umidade final do produto é próxima de 14% e o método utilizado para determinar a finalização da secagem é a análise sensorial (BRITO & CEREDA, 2017). A Figura 4 ilustra o processo de secagem do polvilho em jiraus.



Figura 4. Processo de secagem do polvilho em jiraus.

Em Conceição dos Ouros, o polvilho é fabricado de forma artesanal, gerando um produto sem padronização. Com a realização de análises de pH e acidez titulável, por exemplo, é possível padronizar o polvilho azedo, conforme a Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que classifica o amido (fécula) em Tipos 1, 2 e 3, de acordo com seus parâmetros analíticos de identidade e qualidade (atualmente não há uma definição exclusiva ao termo polvilho, uma vez que houve uma unificação com o termo amido). A Tabela 1 apresenta essa classificação. Caso não haja enquadramento nos limites classificatórios, é considerado “Fora de Tipo” (BRASIL, 2005).

Na legislação, até o momento, não há uma classificação para o polvilho azedo segundo sua capacidade de expansão. A capacidade de expansão representa a propriedade mais importante do amido fermentado de mandioca (POLA JÚNIOR, 2013). O teste que avalia essa capacidade pode ser realizado por meio de duas metodologias: a prática e instrumental. A metodologia prática é mais frequentemente utilizada devido ao seu baixo custo e acessibilidade ao produtor. Já a metodologia instrumental requer um analista com treinamento especializado para realizar os testes, além do custo elevado com equipamento.

O objetivo deste trabalho é analisar o processo de fabricação do polvilho azedo de mandioca em Conceição dos Ouros, buscando compreender as variações técnicas empregadas pelos diferentes fabricantes, bem como sua influência na qualidade do produto final. Com isso, pretende-se contribuir não apenas para o entendimento das práticas de produção, mas também para o desenvolvimento de estratégias que possam aprimorar os métodos de

produção, garantindo a qualidade do produto final e promovendo o desenvolvimento sustentável e o fortalecimento da economia da comunidade local.

Tabela 1. Critérios de classificação do amido de mandioca, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (conforme Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005).

Tipos	1	2	3
Fator Ácido / mL	4,00	4,50	5,00
pH	4,50 a 6,50	4,50 a 6,50	4,00 a 7,00
Amido / %	> 84,00	> 82,00	> 80,00
Cinzas / %	< 0,20	< 0,25	< 0,75
Vazamento / %	0,105	0,105	0,105
Abertura / mm	99,00	98,00	97,00
Temperatura de rompimento / °C	58 a 66	58 a 66	58 a 66
Umidade / %	14,00	14,00	14,00
Matérias estranhas ou impurezas / %	Isento	Isento	Isento
Polpa / mL	0,50	1,00	1,50
Odor	Peculiar	Peculiar	Peculiar

Fonte: Brasil (2005).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a caracterização dos processos, os autores realizaram visitas *in loco* em quatro fábricas de pequeno /médio porte durante o 1º semestre de 2023. Duas das empresas estão localizadas na zona rural do município, sendo acessíveis por meio de estradas de terra que contornam as paisagens da serra da Mantiqueira. Das duas restantes, uma encontra-se em um bairro periférico à zona urbana da cidade e a outra está situada ao longo da rodovia que atravessa Conceição dos Ouros, conectando-a à cidade vizinha.

Amostras do produto acabado foram coletadas e submetidas a análises físico-químicas de pH, acidez titulável e teste de expansão, a fim de se identificar uma possível relação entre os processos de fabricação e a qualidade do produto final. Todos os ensaios foram conduzidos em triplicata. Com os dados obtidos, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) unifatorial, em um nível de confiança de 95%. As médias então foram comparadas pelo teste de Tukey, também com 95% de confiança. Em ambos os casos, utilizou-se o software Minitab®, versão 19. Também foi elaborado um *check list* com 19 itens, subdivididos de acordo com as etapas de fabricação do polvilho, com objetivo de se realizar um levantamento das etapas e da infraestrutura em geral.

2.1. Análise de pH

Com o auxílio de uma balança analítica da marca SHIMADZU, modelo AUW320, pesou-se cerca de 10 g de polvilho em um erlenmeyer e adicionou-se 100 mL de água destilada. O conteúdo foi agitado por aproximadamente 30 minutos em um agitador magnético. Após a homogeneização, a mistura ficou em repouso por 10 minutos para decantação do polvilho. O líquido sobrenadante foi então cuidadosamente retirado com uma pipeta Pasteur e transferido para um béquer de 40 mL, sendo então submetido à leitura direta utilizando um pHmetro previamente calibrado (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.2. Análise de Acidez Titulável

Foram pesados 10 g de polvilho em um erlenmeyer e adicionados 100 mL de água destilada, em três etapas. Na primeira etapa, acrescentou-se 10 mL de água e agitou-se a mistura com um bastão de vidro. Em seguida, adicionou-se mais 10 mL de água até a obtenção de uma pasta consistente. Na sequência, foram incorporados os 80 mL restantes e 2 gotas de solução de fenolftaleína 0,5% (m/v). Sob agitação constante em um agitador magnético, a mistura foi titulada com uma solução previamente padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 0,1029 mol.L⁻¹. A titulação ocorreu até a suspensão atingir um valor de pH entre 8,2 a 8,3, verificados com pHmetro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.3. Teste de Expansão

Para o teste de expansão realizou-se a metodologia adaptada de Nunes e Cereda (1994). Em uma balança analítica, pesou-se 50 g de polvilho e adicionou-se a essa amostra, aos poucos e sob agitação com um bastão de

vidro, cerca de 40 mL de água destilada fervente, até a formação de uma massa homogênea ao ponto de ser moldada manualmente. Quando necessário, era adicionada mais água fervente. Confeccionou-se três bolinhas de aproximadamente 10 g cada, pesadas na balança analítica. As bolinhas foram distribuídas em uma assadeira e levadas para assar em uma estufa pré-aquecida da marca LUCADEMA, em temperatura de 200 ± 3 °C, por 25 minutos. Após assadas e esfriadas, as bolinhas foram pesadas novamente e seus volumes foram medidos, através do método de deslocamento de sementes de painço em uma proveta. O valor do volume específico (expansão) foi obtido por meio da razão entre o volume e a massa de cada biscoito, sendo expresso em mL g⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No intuito de manter a identidade das empresas sob sigilo, elas foram aqui denominadas A, B, C e D. Para o armazenamento da mandioca, foi considerado um período máximo de 48 horas devido ao seu processo deteriorativo após a retirada do tubérculo do solo. A Tabela 2 apresenta os dados da etapa de moagem.

Tabela 2. Dados referentes à capacidade de armazenamento e processamento, composição do maquinário e do fluxo de água durante a etapa de moagem.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
Capacidade de armazenamento (48h) / 10 ³ kg	25	30	30	30
Capacidade de processamento / kg h ⁻¹	3.200	4.000	2.500	3.500
Material do maquinário	Ferro/	Inox	Ferro	Ferro/
Fluxo de água / m ³ . h ⁻¹	9,0	3,2	12,0	10,0

Quanto às etapas de processo de moagem, observa-se que as empresas B, C e D possuem capacidades de armazenamento similares. De forma geral, observa-se que B destaca-se das demais por possuir, simultaneamente, a maior capacidade de processamento (aproximadamente o dobro de C) e um menor fluxo de água, ou seja, um menor consumo de água por quilo de produto fabricado. Com isso, é possível assumir que esta unidade é a que possui a maior capacidade produtiva em relação ao consumo de água dentro as quatro analisadas, além de gerar menos resíduos durante seu processo. A razão entre a capacidade de processamento de B e o volume de água consumido no processo é mais que o triplo de A e D e chega a superar C em seis vezes. Destaca-se também o consumo elevado de água na polvilheira C em relação às demais, especialmente levando-se em conta sua capacidade de processamento.

Adicionalmente, B é a única que apresenta todo o maquinário constituído de aço inox. A relevância do uso desse material está no fato do aço inox possui maior durabilidade e alta resistência à corrosão quando comparado ao ferro, por exemplo, o que é uma grande vantagem quando se trata de um processo que emprega um elevado volume de água. Outra desvantagem do uso de maquinários de ferro no processamento da mandioca é a presença de resíduos desse metal no produto final e nos efluentes gerados. Nesse caso, é importante que a quantidade de resíduo gerada atenda o que está previsto no artigo 16 da Resolução 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)(BRASIL, 2011). Esses fatores contribuem para a elevação do custo de produção.

Das empresas visitadas, apenas C possui todo seu maquinário de ferro. Em A, com exceção do descascador/lavador de mandioca, todo o restante também é de aço inox. Já D possui apenas a serra do ralo em ferro, sendo a estrutura do ralo e seu maquinário feito em inox. Devido ao elevado volume de água utilizado no processo, ela é geralmente reutilizada, a fim de diminuir o custo com o efluente gerado e tornar o processo ambientalmente mais sustentável. A forma de reutilização varia conforme a empresa.

Quanto à etapa de decantação, observa-se que B e D possuem volumes relativamente próximos (Tabela 3). O ambiente onde estão localizados os decantadores pode ser coberto ou aberto. O primeiro utiliza uma cobertura rústica no teto, de madeira e telha, enquanto que o último não possui nenhum tipo de cobertura.

Tabela 3. Dados de capacidade dos decantadores e caracterização do ambiente referentes à etapa de decantação.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
Volume do decantador / m ³	88,8	137,8	72,0	147,5
Ambiente	Coberto	Coberto/aberto	Aberto	Coberto/aberto

A empresa C não possui nenhum decantador coberto, ou seja, todos eles localizam-se em ambientes abertos. A polvilheira A possui dois decantadores com um volume menor em relação às outras empresas, porém seu ambiente coberto dispõe de coberturas metálicas de zinco, sendo uma das decantações fechadas lateralmente, ocasionando um ambiente mais higiênico. Todos os decantadores são de alvenaria e revestidos com piso. Esse tipo de material é mais comum por proporcionar uma melhor higienização.

O processo de fermentação é a etapa mais importante na produção de polvilho azedo, sendo a que mais influencia em sua produtividade. A Tabela 4 apresenta os dados obtidos nesta etapa.

Tabela 4. Dados referentes à quantidade de tanques, sua capacidade volumétrica, caracterização do ambiente, forma de reposição de água e uso do inóculo na etapa de fermentação.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
Quantidade de tanques	48	72	33	50
Volume médio / m ³	6,65	12,80	10,71	12,23
Ambiente	Coberto/ Fechado	Coberto/ Aberto	Coberto/ Aberto	Coberto/ Aberto
Volume médio de água no início do processo / m ³	0,35	0,57	0,48	0,53
Reposição de água?	Quando o nível abaixa	A cada 10 dias	Quando o nível abaixa	Quando o nível abaixa
Uso de inóculo?	Não	Não	Não	Sim
Critério para final de fermentação	Tempo e teste de expansão	Tempo	Tempo	Tempo, textura, cor do sobrenadante
Tempo médio de fermentação / dias	45 a 60	30 a 100	> 90	30 a 60

A quantidade de tanques existente em cada empresa varia de acordo com sua área de instalação. Essa diferença não determina a quantidade de produção de polvilho e sim a capacidade máxima que cada uma possui para armazená-lo. É mais usual armazená-los nos tanques de fermentação do que secos e embalados, devido à logística e tempo de validade após a secagem. Quanto ao fato dos tanques de fermentação possuírem dimensões diferentes, isso se deve a não padronização de seus tamanhos, que mudam conforme a demanda da época em que foram construídos. Os dados apresentados referem-se ao volume médio dos tanques. Nota-se que os volumes dos tanques de B, C e D possuem uma diferença pequena entre si.

A fábrica A possui o ambiente de fermentação com coberturas metálicas de zinco e as laterais fechadas com telas mosquiteiras. As telas mosquiteiras são uma excelente estratégia, pois o processo de fermentação e os efluentes gerados atraem várias espécies de insetos (GONÇALVES, 2018). A cobertura metálica é a mais higiênica já que, por tratar-se de um ambiente externo, a acumulação de teias e aparecimento de ninho de pássaros é comum. Assim, as coberturas metálicas facilitam a higienização deste local e podem até acelerar o processo de fermentação comparado à cobertura convencional, devido a uma maior absorção de calor da cobertura (ALMEIDA, 2020).

As empresas B, C e D possuem o ambiente de fermentação coberto por telhas de cerâmicas sem forro, com suas laterais abertas. Os tanques de fermentação também não apresentam nenhum tipo de cobertura superior, i.e., eles estão dispostos a céu aberto. Esse tipo de infraestrutura é o mais frequentemente encontrado nas fabricantes do município.

A fermentação do polvilho acontece sob uma camada de água que varia entre 10 e 20 cm. Para se determinar o volume de água que essas empresas utilizam nessa etapa do processo, utilizou-se novamente a média de seus volumes em relação à quantidade de tanques. Como esperado, B aplica uma maior quantidade de água nessa etapa, devido ao seu maior número de tanques de fermentação.

Durante a fermentação, a etapa mais longa de toda a produção, é necessário repor a água que é evaporada no processo. Essa reposição ocorre apenas quando o nível de água atinge uma altura mínima em A, C e D, enquanto que B a realiza a cada 10 dias.

A utilização de inóculo permite uma diminuição do tempo de fermentação do polvilho (KLOSTERMANN et al., 2023). Após o processo fermentativo finalizado, deixa-se uma pequena quantidade da última fermentação depositada no fundo do tanque. Das empresas visitadas, apenas a D emprega este método. Apesar de não utilizar o inóculo, B faz uma “isca” com a massa da mandioca, que consiste em colocar a massa de mandioca em sacos de

ráfia, amarrando sua boca e colocando no fundo dos tanques de fermentação. Ela parte do mesmo pressuposto da utilização de inóculo. Em B e C, constatou-se a não utilização de inóculo. Entretanto, o próprio resíduo da fermentação anterior pode iniciar o processo fermentativo, caso fique aderido às paredes dos tanques (KLOSTERMANN et al., 2023).

Não há uma padronização para se determinar o final da fermentação e todas as fábricas analisadas usam como critério o tempo médio que o amido está fermentando nos tanques. Realizar somente esse tipo de análise pode levar a variações no produto final. Contudo, A e D realizam o teste de expansão, além de uma análise sensorial e olfativa, onde o surgimento de bolhas com odores característicos são usados como indícios do processo de fermentação.

A secagem do polvilho azedo ocorre em ambiente aberto ao sol, para que ele possa se expandir (POLA JÚNIOR, 2013). Essa etapa é realizada sobre jiraus, que são estruturas geralmente feitas de madeira e cobertas com uma tela de aço, na qual são estendidas toalhas plásticas sobre a tela, onde o polvilho é depositado. As toalhas plásticas são geralmente pretas, devido a sua maior capacidade de absorção da radiação solar.

Como observado na Tabela 5, apenas em C faz-se uso de esteira de bambu. Por se tratar de um material perecível e que se fragmenta, esse tipo de material pode contaminar o polvilho se esses fragmentos passarem pela etapa de peneiração. Essa é a principal razão pela qual as demais fábricas optam pelas telas de aço. Outro motivo é que as telas metálicas possuem um maior fluxo de ar. Isso acarreta uma maior volatilização da água, acelerando a secagem do polvilho. As empresas analisadas possuem uma grande área de secagem, especialmente B.

Tabela 5. Dados referentes à área disponível para secagem do polvilho e material utilizado nos jiraus durante a etapa de secagem.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
Área de secagem / m ²	1.920	7.229	1.872	3.582
Material do jirau	Tela de aço	Tela de aço	Esteira de bambu	Tela de aço

O tempo de secagem do polvilho depende exclusivamente das condições climáticas, variando de acordo com a temperatura e a época do ano. O método de secagem utilizado em A, B, C e D é o mesmo, dependendo inteiramente da análise sensorial do operador de produção. Após a secagem do polvilho azedo, ele é encaminhado para galpões totalmente fechados. Seu empacotamento normalmente ocorre em sacos de 25 kg. A Tabela 6 exibe a capacidade de cada empacotadora.

Tabela 6. Dados referentes à capacidade de empacotamento da massa de mandioca.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
Massa de mandioca / kg h ⁻¹	1.500	3.750	1.500	2.500

No que se refere ao controle de qualidade, foram realizadas análises de pH, acidez titulável e expansão e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas. Em cada linha, os valores médios seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

VARIÁVEL	EMPRESA			
	A	B	C	D
pH	3,62b ± 0,01	3,48a ± 0,02	3,53a ± 0,03	3,68c ± 0,02
Acidez titulável / mL NaOH 1 mol. L ⁻¹ /100 g	5,97b ± 0,21	7,78a ± 0,22	7,50a ± 0,66	3,33c ± 0,06
Expansão / mL.g ⁻¹	10,29a ± 1,59	8,63a ± 1,76	11,46a ± 1,72	13,00 ± 0,79

Por meio da análise de variância (ANOVA) constatou-se que há diferença significativa entre as médias das quatro empresas para todos os três parâmetros analisados, em um nível de confiança de 95%. No intuito de identificar quais pares de médias são diferentes entre si, realizou-se o teste de Tukey ($p > 0,05$).

Pelo teste de Tukey, tanto os resultados de pH quanto os de acidez titulável indicam que os valores de B e C não possuem diferença significativa entre si, ao contrário do que se observa quando se compara qualquer outro par (Tabela 7) de fabricantes. Valores de acidez titulável iguais ou superiores a 7,0 mL de NaOH 1 mol L⁻¹ / 100 g (como observado em B e C) evidenciam uma fermentação intensa, enquanto que, volumes inferiores a 3,0 mL de NaOH 1 mol L⁻¹/100 g indicam uma ausência quase total de fermentação (CEREDA e VILPOUX, 2002), o que não ocorreu em nenhum dos casos.

O índice de expansão pode ser classificado como pequeno (< 5 mL/g), médio (entre 5,0 e 10 mL/g) e grande (> 10,0 mL/g) (NUNES e CEREDA, 1994). Em relação ao poder de expansão do polvilho, destacam-se os valores encontrados em D, que difere dos demais. É possível que o resultado superior apresentado por D esteja associado ao uso de inóculo, que acelera o tempo de fermentação. O uso de inóculo também está associado ao poder de expansão do polvilho azedo. Ele diminui o tempo de fermentação e aumenta o poder de expansão do polvilho (KLOSTERMANN et al., 2023). Porém, estudos avaliam que há um ponto ótimo de fermentação no qual há uma crescente da propriedade de expansão até atingir um máximo e, após essa estabilidade, há um decaimento (POLA JÚNIOR, 2013).

4. CONCLUSÕES

Observa-se que as polvilheiras avaliadas possuem práticas similares na produção do polvilho. Também são semelhantes em termos tecnológicos e de infraestrutura, com algumas exceções pontuais. O cenário atual apresentado confirmou as dificuldades em se estabelecer parâmetros para determinar o final da fermentação, utilizando-se apenas de métodos sensoriais, o que alerta para a necessidade de implementação de análises físico-químicas para indicar a finalização da fermentação e para o controle de qualidade do polvilho, facilitando uma padronização dos lotes.

Outro fato que merece destaque está no elevado volume de efluente gerado. É preciso investir em pesquisa, para que se possam encontrar formas de se reduzir a quantidade de água consumida e, conseqüentemente, diminuir o volume de efluentes gerados, contribuindo assim não apenas para a redução de custos, mas também para um processo produtivo sustentável.

Embora a etapa de secagem seja a maior causa de sujidade e perda de produto devido às ações climáticas, como vento e chuva, ela é essencial para a qualidade do produto final. Não há até o momento um processo que substitua de forma igualitária a etapa de secagem ao sol. As empresas visitadas possuem consciência das questões ambientais, já que todas fazem o reuso da água, mas ainda não descartam o efluente de forma adequada, principalmente por causa do custo elevado requerido para isso. Dessa forma, é fundamental a implantação de melhorias no processo, pois mesmo com a reutilização da água em algumas etapas, há um elevado consumo e conseqüente geração de efluente.

Conclui-se que, apesar de práticas similares na produção, as empresas analisadas possuem diferenças sutis em suas infraestruturas e métodos, podendo apresentar por um produto final com propriedades distintas. Por fim, considera-se que a implementação de análises relativamente simples e com custos justificáveis, como pH, acidez titulável e expansão, podem ser consideradas como uma alternativa viável para a padronização e melhoria na qualidade do produto final destas empresas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas que permitiram nossas visitas e forneceram as amostras de polvilho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJALA, A. S.; ADEOYE, A. O.; OLANIYAN, S. A.; FASONYIN, O. T. A study on effect of fermentation conditions on citric acid production from cassava peels, *Scientific African*, v. 8, 2020.
- ALMEIDA, M. C. S. de. **Análise da eficiência térmica de diferentes coberturas de centros comerciais no centro de Barra do Garças-MT**. 2020. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto de Ciências exatas da terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças.
- BALBINO, V. A.; LIMA, E. M. The strategic cost management in small rural agricultural family industries: a case study in a casava agribusiness in Caarapó/MS. *Custo e Agronegócio on line*, v. 11, n. 4, p. 203-233. 2015. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v11/10%20pequena%20fazenda%20english.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

- BARDINI, R. N. **A produção mais limpa em fecularias: Uma alternativa frente às tecnologias de fim-de-tubo**. 2008. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 23, de 14 de dezembro de 2005**. Aprova o Regulamento Técnico dos produtos amiláceos derivados da raiz de mandioca, definindo os seus POCs com os requisitos de identidade e qualidade, amostragem, modo de apresentação e a marcação ou rotulagem. Diário Oficial da União, 15 dez., 2005.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011.
- BRITO, V. H. S.; CEREDA, M. P. Modificação de amido por fermentação: polvilho azedo. In: LIMA, U. A. (Org.). **Coleção Biotecnologia Industrial Volume 3: Processos fermentativos e enzimáticos**. 2ed. São Paulo: Blucher, 2017. 509-546p.
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. **Polvilho azedo, critérios de qualidade para uso em produtos alimentares**. São Paulo: Fundação Cargill, Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, 2002.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. O. Determinação de cianeto total nas farinhas de mandioca do grupo seca e d'água comercializadas na cidade de Belém – PA. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 2, n. 2, p. 96-102, 2008.
- DINIZ, I. P. **Caracterização tecnológica do polvilho azedo produzido em diferentes regiões do estado de Minas Gerais**. 2006. 116 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FERRARO, V.; PICCIRILLO C.; TOMLINS K.; PINTADO, M. E. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and Yam (*Dioscorea* spp) crops and their derived foodstuffs: safety security and nutritional value. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.56, n.16, p. 2714–2727, 2015.
- FERREIRA, C. B. B.; **Polvilho azedo: propriedades tecnológicas de produtos comerciais**. Ponta Grossa-PR: Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2022. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2022.
- GONÇALVES, D. da S. **Assembleia de moscas-do-fruto (drosophilidae) em áreas de secagem de polvilho azedo no Sul de Santa Catarina**. 2018. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- KLOSTERMANN, C. E.; ENDIKA, M. F.; TEN CATE, E.; BUWALDA, P. L.; DE VOS, P.; BITTER, J. H.; ZOETENDAL, E. G.; SCHOLS, H. A.; Type of intrinsic resistant starch type 3 determines in vitro fermentation by pooled adult faecal inoculum; **Carbohydrate Polymers**, v. 319, p. 1-14, 2023.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 122-127, 2000.
- LIMA, J. W. C. **Análise ambiental do processo produtivo de polvilho em indústrias do Extremo Sul de Santa Catarina**. 2001. 131 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.
- MARCON, M. J. A.; KURTZ, D. J.; RAGUZZONI, J. C.; DELGADILLO, I.; MARASCHIN, M.; SOLDI, V.; REGINATTO, V.; AMANTE, E. R. Expansion properties of sour cassava starch (polvilho azedo): variables related to its practical application in bakery. **Starch- Stärke**, v. 61, p.716–726, 2009.
- MARTINEZ, D. G. **Produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos do processamento da mandioca**. 2016. 48 p. Dissertação (Mestrado). Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel.
- NUNES, O. L. G. S.; CEREDA, M. P. Metodologia para avaliação da qualidade de fécula fermentada de mandioca (polvilho azedo). 1994. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA. Salvador, BA.
- OLIVEIRA, E. da S. **Análise físico-química da polpa da mandioca mansa e brava (*Manihot esculenta* Crantz subsp. *esculenta*)**. 2013. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química). Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes.
- PASSOS, A. A. dos; TEIXEIRA, A. L.; MENDES, A. M.; ROSA NETO, C.; OLIVEIRA, D. M. de; LEONIDAS, F. das C.; BOTELHO, F. J. E.; FERRO, G. de O.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; ARAUJO, L. V. de; COSTA, R. S. C. da; FERNANDES, S. R. **Sistema de produção 37: Cultivo da mandioca no estado de Rondônia**. 1. ed. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2018.
- POLA JÚNIOR, A. C. **Análise do processo de produção do polvilho azedo**. 2013. 152 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CONCEIÇÃO DOS OUROS. **Conheça Conceição dos Ouros**. Disponível em: <<https://conceicaodosouros.mg.gov.br/conceicao-dos-ouros/>>. Acesso em: 22 set. 2022.

- SILVA, P. S. **Tratamento biológico de efluentes do processamento da mandioca: incentivo sustentável as unidades produtoras de farinha.** 2019. 109 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.
- SOARES, I. A. F.; **A biodigestão anaeróbia com uso da manipueira: alternativa energética e sustentável em uma farinha no município de Cianorte-PR.** 2022. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.
- UME, S. I.; ONWUJIARIRI, U. J.; NWANERI, T. C. Effect of cassava processing to the environment in south east, Nigeria - implication on adoption of cassava processing technology. **Sustainable Food**, v. 9, p. 1-14, 2020.