



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE ZOOTECNIA

LYARA IDEUZUITE ROCHA MARQUES

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO A FRIO PARA
PRESERVAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO CIANÍDRICO EM AMOSTRAS
DA PARTE AÉREA DA MANDIOCA

FORTALEZA

2025

LYARA IDEUZUITE ROCHA MARQUES

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO A FRIO PARA PRESERVAÇÃO
DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO CIANÍDRICO EM AMOSTRAS DA PARTE AÉREA
DA MANDIOCA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Zootecnia do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharelado em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal Coutinho do Rêgo.
Coorientador: Dr. Marcus Vinicius Santa
Brígida Cardoso

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M319a Marques, Lyara Ideuzuite Rocha.
Avaliação de métodos de armazenamento a frio para preservação da concentração de ácido cianídrico em amostras da parte aérea da mandioca / Lyara Ideuzuite Rocha Marques. – 2025.
29 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Zootecnia, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Aníbal Coutinho do Rêgo.
Coorientação: Prof. Dr. Marcus Vinicius Santa Brígida Cardoso.
1. Armazenamento. 2. Cianeto. 3. Linamarase. 4. Manihot esculenta. 5. Congelamento. I. Título.
CDD 636.08
-

LYARA IDEUZUITE ROCHA MARQUES

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ARMAZENAMENTO A FRIO PARA PRESERVAÇÃO
DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO CIANÍDRICO EM AMOSTRAS DA PARTE AÉREA
DA MANDIOCA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Zootecnia do Centro de
Ciências Agrárias da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharelado em Zootecnia.

Aprovada em 17 /07/ 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Aníbal Coutinho do Rêgo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Marcus Vinicius Santa Brígida Cardoso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, minhas irmãs, meus familiares
e amigos, por serem meu suporte durante todo
meu percurso.

AGRADECIMENTOS

Primordialmente à Deus, Criador do universo, por me conferir a capacidade de aprender sem limitações e a esperança necessária para cumprir o meu propósito.

Aos meus pais, Jacinto e Kércia, minha eterna gratidão. A vocês que trabalharam incansavelmente para me proporcionar as melhores coisas da vida. Agradeço por serem meu alicerce e meu bem mais precioso.

Às minhas irmãs Lilyan e Lyana, que desde sempre acompanham meus anseios acadêmicos e sabem o significado da realização dessa fase para minha vida.

À minha amada avó, Idelzuite, agradeço por sempre estar presente, me incentivar e celebrar cada conquista como fosse sua. Você é minha inspiração!

Aos meus familiares, por me receber com abraços amorosos, palavras de apoio e carinho.

Aos meus amigos que tornaram essa jornada tolerável, Amanda Monteiro, Flávia Matos, Pedro Alves, Pedro Hugo e Sarah Pereira

Ao professor Aníbal Coutinho do Rêgo, que também me acompanhou durante meus estágios da graduação. Sua orientação, paciência e dedicação foram imprescindíveis para minha formação acadêmica e profissional. Sou grata por todo apoio e ensinamentos.

Ao meu coorientador Marcus Cardoso, pela contribuição no desenvolvimento do trabalho. Agradeço por sua disposição, sempre se mostrando solícito.

À professora Rosilene, pela colaboração do experimento.

À equipe envolvida na condução do experimento, em especial Silvio Junior, Helen Andrade, minha sincera gratidão pela parceria.

Às professoras Lays Mariz e Patrícia Guimarães pela oportunidade de integrar o projeto de extensão. Vivenciar essa experiência foi extremamente enriquecedora, pois levo comigo aprendizados valiosos

Ao Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF), pelo acolhimento e por permitir ter experiências memoráveis.

À Universidade Federal do Ceará, que me permitiu uma formação superior de mérito.

RESUMO

A mandioca é uma cultura muito usada para alimentação animal em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, a mandiocultura tem alta relevância para a agricultura familiar, sendo fonte alimentar, econômica e sustentável. A parte aérea da mandioca é frequentemente utilizada na alimentação animal devido seu valor nutricional. No entanto, essa fração contém glicosídeos cianogênicos, como linamarina e lotaustralina, que podem liberar ácido cianídrico (HCN), composto tóxico e altamente volátil. Devido as limitações em realizar análises imediatas de campo, é preciso que estratégias de armazenamento possam preservar a concentração de HCN próximo ao valor da planta *in natura*. O objetivo deste trabalho foi avaliar alterações na concentração de HCN da parte aérea de variedades de mandioca brava (Manipêba, Urubu, Ceará, Poti Branca) submetidas a métodos de armazenamento a frio: refrigerada (24 h) e congelada (-20 °C; 30 d). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 4×3 (4 variedades \times 2 armazenamentos e a forragem fresca), com quatro repetições por tratamento. As médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 5% de significância. Houve efeito do armazenamento ($P < 0,001$), da variedade ($P < 0,001$) e da interação armazenamento \times variedade ($P = 0,021$) na concentração de HCN. A concentração de ácido cianídrico das amostras *in natura* obtida apresentou valores elevados nas variedades Manipêba (77,53 mg/kg MS), Ceará (75,14 mg/kg MS) e Poti Branca (72,38 mg/kg MS). Por outro lado, a menor concentração foi da variedade Urubu (50,55 mg/kg MS). Em relação ao armazenamento, todas as variedades apresentaram reduções nos teores de HCN quando as amostras foram refrigeradas, em comparação às amostras *in natura* e congeladas. As variedades Urubu (36,52 mg/kg) e Poti Branca destacaram-se com menores teores, inferiores aos obtidos nas variedades Manipêba (41,30 mg/kg) e Ceará (42,18 mg/kg). A concentração de HCN das amostras congeladas das variedades Urubu, Manipêba e Ceará não diferiram das amostras processadas na forma *in natura*. O congelamento se mostrou satisfatório para a manutenção das concentrações de HCN quando congeladas até 30 d.

Palavras-chave: Armazenamento; cianeto; linamarase; *Manihot esculenta*; congelamento.

ABSTRACT

Cassava is a crop widely used for animal feed in tropical and subtropical regions. In Brazil, cassava cultivation holds great relevance for family farming, serving as a nutritional, economic, and sustainable resource. The aerial part of cassava is often used in animal feeding due to its nutritional value. However, this fraction contains cyanogenic glycosides, such as linamarin and lotaustralin, which can release hydrogen cyanide (HCN), a highly toxic and volatile compound. Due to limitations in performing immediate field analyses, it is necessary to adopt storage strategies capable of preserving HCN concentrations close to those found in the fresh plant. The aim of this study was to evaluate changes in HCN concentration in the aerial part of bitter cassava varieties (Manipêba, Urubu, Ceará, Poti Branca) subjected to cold storage methods: refrigerated (24 h) and frozen (-20 °C; 30 d). A completely randomized design was used in a 4 × 3 factorial arrangement (4 varieties × 2 storage methods (refrigerated and frozen) and fresh forage), with four replicates per treatment. Means were compared using Tukey's test at a 5% significance level. There was an effect of storage ($P < 0.001$), variety ($P < 0.001$), and the interaction between storage × variety ($P = 0.021$) on HCN concentration. The HCN concentration in fresh samples showed high values in the Manipêba (77.53 mg/kg DM), Ceará (75.14 mg/kg DM), and Poti Branca (72.38 mg/kg DM) varieties. On the other hand, the lowest concentration was observed in the Urubu variety (50.55 mg/kg DM). Regarding storage, all varieties showed reductions in HCN content when samples were refrigerated, compared to fresh and frozen samples. The Urubu (36.52 mg/kg) and Poti Branca varieties stood out with the lowest levels, lower than those found in the Manipêba (41.30 mg/kg) and Ceará (42.18 mg/kg) varieties. The HCN concentration in frozen samples of Urubu, Manipêba, and Ceará did not differ from fresh samples. Freezing proved to be effective in maintaining HCN concentrations for up to 30 d.

Keywords: Storage; cyanide; linamarase; *Manihot esculenta*; freezing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Mandiocultura	12
2.2 Metodologias para determinação de HCN	13
2.3 Ácido Cianídrico (HCN)	13
2.4 Fatores no HCN	15
2.4.1 <i>Genética</i>	15
2.4.2 <i>Condições ambientais</i>	15
2.4.3 <i>Estrutura da planta</i>	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Local de realização, obtenção das amostras e tratamentos experimentais	17
3.2 Preparo de soluções	18
3.3 Preparo das amostras	18
3.4 Hidrólise em banho-maria	19
3.5 Destilação	19
3.6 Titulação	21
3.7 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÃO	25
6. IMPLICAÇÕES	25
REFERÊNCIAS	27
ANEXO I	30

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui papel fundamental no contexto agrícola mundial, sobretudo em regiões tropicais e subtropicais, sendo cultivada em mais de 100 países. Conforme dados da *Food Agriculture and Organization*, a produção global de mandioca foi estimada em aproximadamente 330 milhões de toneladas em 2022, apresentando um crescimento médio anual de 2,3% desde 1960. A maior parte dessa produção concentra-se na África e na Ásia, com países como Nigéria, República Democrática do Congo, Tailândia e Gana respondendo por cerca de 70% do volume mundial. O Brasil destaca-se ocupando quinta posição, com produção estimada em 18,5 milhões de toneladas (FAO, 2023)

Além do uso na alimentação humana, a mandioca tem papel significativo na alimentação animal, especialmente na forma de subprodutos e resíduos da cultura, como as folhas e os bagaços, que são utilizados como volumosos na alimentação de ruminantes (SANTOS *et al.*, 2019). Essa utilização é particularmente importante para pequenos produtores que dependem da mandioca como fonte de alimento para os rebanhos, contribuindo para a sustentabilidade e diversificação da produção agropecuária familiar (COSTA *et al.*, 2003). A agricultura familiar, responsável por cerca de 90% das propriedades que cultivam mandioca no Brasil, depende dessa cultura não apenas como fonte alimentar, mas também como fonte de renda, gerando empregos e mantendo práticas agroecológicas que valorizam a diversidade e o conhecimento tradicional (IBGE, 2017; FAO, 2023)

A parte aérea da mandioca é amplamente utilizada como forragem devido ao seu elevado teor de proteína bruta e boa digestibilidade. No entanto, essa fração da planta também contém glicosídeos cianogênicos, destacando-se a linamarina e a lotaustralina, compostos que, sob ação da enzima linamarase, podem liberar ácido cianídrico (HCN), substância tóxica que pode causar sérios prejuízos à saúde de animais e humanos, quando ingerida em concentrações elevadas (OBILEKE *et al.*, 2021).

O HCN é um composto que apresenta volatilidade extremamente alta em relação aos demais ácidos em função do seu baixo ponto de ebulição (~25,6 °C) o que favorece rápida passagem para a fase gasosa. Esse fator está vinculado à estrutura molecular simples e ao fraco nível de interação intermolecular, sendo de volatilidade superior em relação a ácidos como o acético (118 °C) ou o sulfúrico (337 °C), cujos pontos de ebulição são mais elevados (ATSDR, 2006; PUBCHEM, 2025). O fato de o HCN ser muito volátil torna necessário que determinação em laboratório ocorra de forma imediata, com o intuito de obter valores próximos ao real valor da concentração de HCN na planta.

Um método de quantificação do ácido cianídrico foi proposto por Ades, Totah e Hernández Luis (1986) e adaptado por Silva (2015), os quais a concentração de HCN é determinada a partir de amostras *in natura* imediatamente após a coleta. Entretanto, considerando as dificuldades enfrentadas em trabalhos de campo, principalmente em regiões onde não é possível realizar a análise laboratorial no mesmo dia da colheita, é importante buscar alternativas que sejam capazes de manter a concentração de HCN próximas à de amostras *in natura*. Além disso, diferentes genótipos de mandioca apresentam características genéticas e morfofisiológicas distintas, que podem influenciar diretamente nos teores de HCN (JORGENSEN ET AL., 2005; MCMAHON ET AL., 1995).

A hipótese do presente trabalho é que o armazenamento a frio é capaz de preservar a concentração de HCN do terço final da mandioca. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do armazenamento a frio de amostras do terço final de variedade de mandioca sobre a concentração de HCN.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mandiocultura

A mandioca é uma planta dicotiledônea pertencente à família Euphorbiaceae e representa a única espécie domesticada e amplamente cultivada do gênero *Manihot*, que inclui mais de 100 espécies silvestres. Sua estrutura morfológica é composta por caule ereto, folhas palmatilobadas e raízes tuberosas ricas em amido, que representam sua principal parte economicamente explorada (OGUNNIYI *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2014).

A sua origem tem sido objeto de diversos estudos genéticos, filogeográficos e arqueobotânicos. Evidências recentes indicam que a planta foi domesticada há cerca de 8 a 10 mil anos, na região sudoeste da Amazônia, abrangendo partes do Brasil, Bolívia e Peru. A espécie cultivada atual teria se originado a partir de eventos de hibridação natural entre populações silvestres, principalmente *Manihot flabellifolia* e *Manihot pruinosa* (BAKO *et al.*, 2020; LÉOTARD *et al.*, 2009).

A domesticação da mandioca envolveu a seleção de plantas com maior produção de raízes tuberosas, menor lignificação, ciclo mais curto, menor toxidez e maior rendimento de amido. Com o tempo, essas características permitiram que a mandioca se tornasse uma cultura estratégica para a segurança alimentar em várias regiões tropicais e subtropicais do mundo, especialmente pela sua resiliência à seca e à baixa fertilidade do solo (EL-SHARKAWY, 2012).

A parte aérea da mandioca, composta por ramas e folhas, apresenta elevado valor nutritivo, podendo conter até 16% de proteína bruta e teores relativamente baixos de fibra, quando comparada às principais forrageiras tropicais. No entanto, cultivares de mandioca brava, que apresentam concentrações mais elevadas de glicosídeos cianogênicos, requerem cuidados específicos no seu aproveitamento. Para reduzir os riscos de intoxicação por ácido cianídrico e garantir a segurança alimentar dos animais, recomenda-se que essa parte da planta passe por processos de conservação, como a produção de feno, farelo ou silagem. Além disso, é imprescindível que o material seja fornecido aos animais misturados com outros volumosos, na proporção de 50%, o que contribui para diluir os compostos tóxicos (MAGALHÃES, 2002).

A classificação tradicional da mandioca em mansa e brava baseia-se no teor de HCN presente principalmente nas raízes. De acordo com Bolhuis (1954), as mandiocas mansas apresentam teores inferiores a 100 mg de HCN por kg de matéria fresca, sendo consideradas seguras para o consumo humano direto, sem necessidade de processamento prévio. Em contrapartida, as mandiocas bravas possuem concentrações superiores a esse limite, representando risco de intoxicação aguda ou crônica se consumidas *in natura*, o que exige a adoção de métodos de desintoxicação, como cocção prolongada, fermentação, secagem ao sol

ou produção de farinha, fécula e outros derivados (CARDOSO *et al.*, 2005; MONTAGNAC *et al.*, 2009).

2.2 Metodologias para determinação de HCN

Diferentes metodologias de determinação do HCN podem ser utilizadas e que sua aplicação vai depender de diversos fatores, tais como: mão-de-obra, aparelho, precisão, entre outros. A determinação do teor de cianeto na mandioca tem sido objeto de diversas abordagens analíticas, com avanços significativos nas últimas décadas. Silva *et al.* (2019) investigaram a quantificação de cianeto livre por cromatografia iônica, ressaltando a importância do desenvolvimento de métodos mais limpos, capazes de evitar reagentes tóxicos como piridina e ácido pícrico, reduzindo riscos ambientais e ocupacionais. Chisté *et al.* (2019) aplicaram uma metodologia enzimática adaptada de Essers *et al.* (1993) e Oliveira (2010) para quantificar cianeto total e livre via reação colorimétrica. A análise espectrofotométrica, realizada a 605 nm, utilizou curva analítica obtida a partir de padrão de KCN, permitindo detectar concentrações entre 0,05 e 2 µg HCN/0,1 mL.

Rubyogo *et al.* (2023) empregaram espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) combinada a algoritmos de aprendizado de máquina para classificar raízes de mandioca com alto e baixo potencial cianogênico. Avaliando 1.164 amostras, obtiveram acurácia de até 100 % com regressão logística (LR) e 99 % com análise discriminante por mínimos quadrados (PLS-DA). Na mesma linha, Sanchez *et al.* (2014) demonstraram a eficiência do NIRS na predição de atributos de qualidade da raiz, alcançando elevado desempenho para teor de matéria seca ($R^2 \approx 0,96$) e potencial cianogênico ($R^2 \approx 0,86$), confirmando a utilidade da técnica em programas de melhoramento genético.

Ademais, abordagens baseadas em biossensores têm se mostrado promissoras para análises rápidas. Jasper *et al.* (2009) desenvolveram um sistema que combina a enzima linamarase imobilizada em alginato de cálcio com um eletrodo seletivo de íons ($\text{AgI}/\text{Ag}_2\text{S}$), permitindo a detecção de concentrações entre 10^{-6} e 10^{-2} M, inclusive do cianeto liberado enzimaticamente a partir da linamarina.

2.3 Ácido Cianídrico (HCN)

O HCN, ácido prússico ou cianeto de hidrogênio é uma substância orgânica de estrutura linear, composta por um átomo de hidrogênio (H) ligado a um átomo de carbono (C), que, por sua vez, está ligado a um átomo de nitrogênio (N) através de uma ligação tripla ($\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$). Essa ligação tripla confere à molécula alta reatividade química, tornando-a instável e altamente

tóxica. O caráter linear da molécula também favorece sua volatilidade, permitindo que o HCN passe facilmente para o estado gasoso e atue rapidamente em sistemas biológicos ao ser inalado ou absorvido. (PUBCHEM, 2025).

O HCN é um composto químico de alta toxicidade, com forte relevância histórica e bioquímica. Ele foi isolado pela primeira vez em 1782, pelo químico sueco Carl Wilhelm Scheele, a partir da decomposição do corante azul da Prússia. Desde então, o HCN passou a ser estudado por suas propriedades químicas e seus efeitos fisiológicos adversos (Tabela 1).

A toxicidade do ácido cianídrico é extremamente elevada, mesmo em doses muito pequenas. Ele atua como um inibidor da respiração celular, ligando-se à enzima citocromo c oxidase na cadeia respiratória mitocondrial, o que bloqueia a utilização do oxigênio pelas células. Esse mecanismo provoca hipóxia tecidual generalizada, podendo levar à falência orgânica e morte rápida. Dessa forma, o ácido cianídrico é considerado como um dos compostos mais letais conhecidos na toxicologia clássica (HALL; ISOM; ROCKWOOD, 2015)

Tabela 1- Comparação da volatilidade de ácidos mais comuns

Ácido	Tipo ¹	pKa	PE ² (°C)	V ³	T ⁴
Ác. cianídrico	O	~9,2	25,6	MA	Extremamente tóxico
Ác. acético	O	~4,76	118	M	"Baixa a moderada
Ác. fórmico	O	~3,75	100,8	A	Tóxico em grandes doses
Ác. clorídrico	I	-6,3	-85	A	Irritante, corrosivo
Ác. sulfúrico	I	-3	337	MB	Corrosivo, mas menos volátil
Ác. nítrico	I	~ -1,4	83	A	Altamente corrosivo e oxidante

¹O =orgânico; I = inorgânico. ²PE = ponto de ebulição. ³V = volatilização; MA = muito alto; A = alto; M = moderado; MB = muito baixo. ⁴T = toxicidade; ET = extremamente tóxico.

Fonte: Adaptado de CRC HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS (2023), NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2025), NIOSH (2025) e ATSDR (2025).

Historicamente, o HCN tornou-se notável durante a Segunda Guerra Mundial, quando foi utilizado sob a forma do pesticida Zyklon B, que liberava ácido gasoso. Esse produto foi empregado pelo regime nazista como arma química nos campos de extermínio, resultando na morte de milhões de pessoas, principalmente em Auschwitz-Birkenau (UNITED STATES HOLOCAUST MEMORIAL MUSEUM).

O HCN presente em plantas como a mandioca é produzido a partir da degradação enzimática dos glicosídeos cianogênicos, principalmente a linamarina, que representa cerca de 85% do total, e da lotaustralina, em menor proporção. Essas substâncias são sintetizadas nas folhas e translocadas para outras partes da planta, como as raízes tuberosas. Em tecidos vegetais intactos, os glicosídeos e a enzima linamarase encontram-se separados — nos vacúolos e na

parede celular, respectivamente — o que impede a liberação espontânea de HCN (CARDOSO *et al.*, 2005; MONTAGNAC *et al.*, 2009).

2.4 Fatores no HCN

2.4.1 Genética

A genética da mandioca é o fator mais determinante na quantidade de glicosídeos cianogênicos (linamarina e lotaustralina) produzidos pela planta, e consequentemente na liberação do HCN. A variação genética entre cultivares é responsável por diferenças expressivas no teor de HCN, o que classifica a mandioca em variedades mansas (baixo teor) e bravas (alto teor). Essa variação de ácido cianídrico ocorre porque a biossíntese dos glicosídeos cianogênicos é regulada por um conjunto de genes específicos que codificam as enzimas envolvidas na via metabólica da produção desses compostos. Entre essas enzimas, destacam-se as CYP79D1/D2 e a linamarase, que participam respectivamente da síntese e da hidrólise dos glicosídeos (SAKAMOTO *et al.*, 2013).

Estudos de mapeamento genético e análise do DNA molecular identificaram regiões genômicas associadas à produção de HCN. A identificação de marcadores moleculares ligados a esses genes tem sido uma importante ferramenta para programas de melhoramento genético da mandioca, visando reduzir a toxicidade sem comprometer a produtividade (WANG *et al.*, 2014; OGUNNIYI *et al.*, 2021). Além disso, a genética influencia não só a quantidade total de HCN, mas também sua distribuição nas diferentes partes da planta e seu padrão de expressão durante o desenvolvimento, com algumas cultivares apresentando maior concentração nas folhas, outras nas raízes (CARDOSO *et al.*, 2005). A presença de genes dominantes para alto teor de glicosídeos em cultivares bravas pode dificultar a redução rápida desses compostos via cruzamentos convencionais, exigindo a utilização de técnicas modernas como a edição gênica CRISPR-Cas9 para silenciar genes-chave da via cianogênica (SONG *et al.*, 2020).

2.4.2 Condições ambientais

Os fatores climáticos exercem influência significativa sobre a produção e o acúmulo de compostos cianogênicos nas plantas de mandioca, afetando diretamente o teor final de ácido cianídrico (HCN) presente nos tecidos vegetais. Entre esses fatores, o estresse hídrico se destaca como um dos principais estímulos para o aumento da produção de linamarina e lotaustralina, compostos que, quando hidrolisados, liberam HCN.

A deficiência de água induz a planta a intensificar o metabolismo secundário, como mecanismo de defesa contra condições adversas (EL-SHARKAWY, 2012). Da mesma forma, altas temperaturas, alta incidência de radiação solar e variações bruscas de clima também são capazes de elevar os teores de glicosídeos cianogênicos (MONTAGNAC *et al.*, 2009). Em contrapartida, condições mais amenas e bem irrigadas tendem a resultar em teores mais baixos de HCN, especialmente quando associadas a cultivares de mandioca mansa. Nesse aspecto, práticas de manejo que considerem a influência do clima, como a escolha da época de plantio, estratégias de irrigação e o ambiente de cultivo, são estratégias para a redução da toxidez natural da planta.

2.4.3 Estrutura da planta

As características fisiológicas e morfológicas da planta de mandioca influenciam diretamente na produção e acúmulo de glicosídeos cianogênicos, precursores do ácido cianídrico (HCN). Dentre essas características, destaca-se a parte da planta analisada, uma vez que os teores de HCN não são uniformes. Folhas, pecíolos e brotações jovens costumam apresentar os maiores teores, enquanto as raízes tuberosas, embora também acumulem glicosídeos, apresentam concentrações relativamente mais baixas (CARDOSO *et al.*, 2005).

Outro fator relevante é o estágio de desenvolvimento da planta. Plantas mais jovens, em fase ativa de crescimento, geralmente apresentam maior produção de compostos cianogênicos, como parte do mecanismo natural de defesa contra herbívoros (MONTAGNAC *et al.*, 2009). À medida que a planta amadurece, os teores tendem a se estabilizar ou até reduzir, principalmente nas raízes. A estrutura anatômica das raízes também influencia o teor de HCN: a casca e o córtex concentram mais glicosídeos do que a polpa central, o que reforça a importância de práticas adequadas de descascamento durante o processamento.

Além disso, características como porte da planta, produtividade de biomassa, espessura dos tecidos e capacidade de armazenamento de água também podem exercer influência indireta sobre o metabolismo secundário, afetando a quantidade de linamarina e lotaustralina acumuladas nos tecidos. Assim, cultivares mais vigorosos ou mais expostos a fatores de estresse fisiológico podem expressar níveis mais elevados de compostos cianogênicos, mesmo quando cultivados em condições semelhantes (EL-SHARKAWY, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de realização, obtenção das amostras e tratamentos experimentais

O experimento foi realizado entre os meses de maio e junho de 2025 no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), no Laboratório de Nutrição Animal (LANA) do Departamento de Zootecnia latitude: 3° 44' 32" S Longitude: 38° 34' 36" O. As cultivares da mandioca foram coletadas em área experimental no setor de Agricultura, pertencente ao Departamento de Fitotecnia, e no núcleo de Ensino e Estudo em Forragicultura (NEEF), pertencente ao DZ na UFC. Para a realização do trabalho, foram utilizadas a parte aérea de quatro variedades de mandioca brava: Urubu, Ceará, Poti Branca e a Manipeba. A parte aérea das plantas foram colhidas de forma manual, rente ao solo, e posteriormente foram picadas com o auxílio de tesouras e goivas. Posteriormente o material foi homogeneizado e retirada 4 amostras para posteriores análises. No presente trabalho foram avaliadas quatro variedades da parte aérea da mandioca e três formas de armazenamento, sendo eles: *in natura*, resfriado em geladeira 4°C por 24 h e congelado em freezer (-20 °C) por 30 dias.

3.2 Teor de matéria seca, matéria mineral e determinação do pH

As amostras foram pré-secas em estufa de circulação forçada de ar por 72 h a 55 °C, sendo posteriormente moídas em moinho de faca (tipo Willey), com peneira com crivo de 1 mm de diâmetro. As amostras moídas foram levadas para estufa de secagem definitiva (105 °C) por 16 h para determinar a concentração de matéria seca (MS; método 934.01; AOAC, 1990) e posteriormente em forno mufla (600 °C/4 h) para determinação da matéria mineral (MM; método 923.03; AOAC, 1990). Para determinação do pH, 25 gramas de foram colocadas em um becker com 100 mL de água destilada (BOLSEN *et al.*, 1992).

3.3 Determinação de ácido cianídrico

A metodologia utilizada para determinação do ácido cianídrico foi proposta por ADES TOTAH e HERNANDEZ LUIS (1986) adaptada por SILVA (2015). No presente trabalho, além da amostra *in natura*, as amostras resfriadas e congeladas também foram analisadas quanto à concentração de HCN. As amostras resfriadas somente foram retiradas da geladeira no momento em que completou o período estabelecido de 24 h para então, imediatamente, serem analisadas. As amostras congeladas, anterior a análise, foram retiradas previamente do freezer e colocadas em geladeira para descongelamento gradual das amostras, 24 h anterior ao início

da análise. As amostras resfriadas e congeladas foram submetidas ao mesmo protocolo utilizado para a amostra *in natura*.

3.2 Preparo de soluções

Todos os reagentes utilizados na análise foram preparados em capela de exaustão e devidamente armazenados em frascos de vidro âmbar, a fim de evitar degradação por luz e garantir a estabilidade das soluções. Para o preparo da solução de hidróxido de sódio (NaOH; pureza 99%) a 2,5%, foram pesados 25,2 gramas do reagente e dissolvidos em 1 L de água destilada. A solução de hidróxido de amônio 6 N (NH₄OH 28-30%) foi preparada por meio da aferição de 405,52 mL do reagente em balão volumétrico (1 L), completando-se o volume com água destilada. No preparo da solução de nitrato de prata 0,02 N (AgNO₃; pureza = 99%), foram pesados 3,431 g do reagente, os quais foram diluídos e aferidos em balão volumétrico (1 L) com água destilada. A solução de iodeto de potássio 5% (KI; pureza = 99%), pesaram-se 50,505 g do reagente, igualmente diluídos em balão volumétrico (1 L) com água destilada.

3.3 Preparo das amostras

As amostras da parte aérea mandioca foram inicialmente picadas manualmente com o auxílio de tesoura e goiva, formando partículas menores, a fim de facilitar a extração dos compostos durante a análise. Em seguida, foi pesada 20 g da amostra *in natura*, utilizando uma balança analítica com precisão de 0,01 g (Figura 1). A amostra pesada foi transferida para o interior de um kitassato de 250 mL garantindo que a amostra permanecesse no fundo do recipiente. Posteriormente, foram adicionados 100 mL de água destilada com o auxílio de uma proveta graduada, utilizando-se 50% do volume para auxiliar na condução do material vegetal até o fundo da vidraria. Após a total adição da água, a mistura foi homogeneizada com um bastão de vidro, garantindo que todo conteúdo estivesse completamente umedecido no interior do kitassato (Figura 2).

Figura 1- Pesagem da amostra



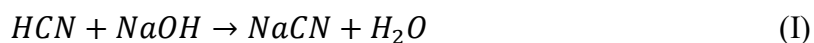
Fonte: Autora, 2025.

Figura 2- A amostra pesada e transferida para o interior de um kitassato



3.4 Hidrólise em banho-maria

O kitassato contendo a amostra foi conectado a um erlenmeyer de 125 mL contendo 10 mL de NaOH 2,5%, por meio de tubos plásticos vedados com tampas de borracha e filme plástico (Figura 3). O kitassato contendo a amostra foi colocado no banho-maria aquecido a 40–45 °C, permanecendo por 2 h. O erlenmeyer permaneceu fora do banho-maria, apenas recebendo os vapores do HCN liberado pela amostra capturados pela solução de NaOH 2,5%. Durante esse período, o sistema permaneceu fechado e estático, sem necessidade de agitação ou manipulação (Figura 4). Nessa etapa como uma reação de neutralização onde o HCN reage com hidróxido de sódio (NaOH), formando o sal cianeto de sódio (NaCN) e água (H₂O), conforme a fórmula química I. O NaCN é uma das formas mais comuns de transporte e armazenamento de cianetos.



3.5 Destilação

Após a etapa de hidrólise em banho-maria, o conteúdo do kitassato foi filtrado utilizando papel filtro (Figura 5). Cerca de 20 mL do extrato filtrado foram transferidos para tubos de ensaio apropriados para o destilador Kjeldahl. A temperatura do destilador foi ajustada para aproximadamente 95 °C. O mesmo erlenmeyer utilizado na etapa do banho-maria foi

posicionado no destilador (Figura 6). Nessa etapa, ainda ocorre uma reação de neutralização onde o HCN liberado do extrato aquoso filtrado, sob aquecimento a alta temperatura no destilador, irá reagir com o NaOH como solução receptora no Erlenmeyer, formando NaCN.

A destilação foi concluída quando o volume destilado alcançou 60 mL e, em seguida, completou-se até o volume de 125 mL com água destilada. Nesse momento, o NaCN presente no Erlenmeyer entra em contato com a H₂O, dando início à uma reação de hidrólise salina, formando HCN e NaOH (fórmula química II). Foram retiradas 2 alíquotas de 50 mL da amostra destilada e transferida para novos Erlenmeyers secos, limpos e devidamente identificados.



Figura 3- Kitassato conectado ao erlenmeyer



Figura 4- Kitassatos dispostos no banho maria



Figura 5 - Processo de filtragem



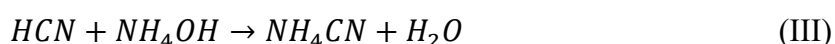
Figura 6- Amostra sendo destilada



Fonte: Autora, 2025.

3.6 Titulação

As alíquotas foram levadas à capela, onde foram adicionados 4 mL de NH_4OH 6 N e 1 mL de KI 5% (Figura 7). Nesse momento, o HCN começa a reagir com o NH_4OH a partir de uma reação de neutralização (fórmula química III), formando cianeto de amônio (NH_4CN), um sal instável que pode se decompor rapidamente liberando HCN. O NH_4CN , por sua vez, irá reagir com o KI, a partir de uma reação de dupla troca (fórmula química IV), formando cianeto de potássio (KCN) e iodeto de amônio (NH_4I). O cátion potássio (K^+) substitui o cátion amônio (NH_4^+) no sal de cianeto, formando o KCN. O cianeto de potássio apresenta comportamento mais estável e previsível na etapa sucessiva de precipitação com sais de prata.



Após a adição das soluções, a titulação foi realizada com solução de AgNO_3 0,02 N até o aparecimento de ligeira turbidez (Figura 8). Nessa etapa, o KCN reage com o AgNO_3 , em uma reação de precipitação (fórmula química V), formando cianeto de prata (AgCN) e nitrato de potássio (KNO_3).



Dessa forma, a determinação da quantidade de cianeto é feita encontrando-se a quantidade de nitrato de prata necessária para converter todo o cianeto em cianeto de prata e potássio ou em um dos compostos relacionados. Em quantidades excessivas de AgNO_3 titulado, uma reação com o NH_4I pode ocorrer, fazendo com que ocorra uma alteração na coloração da amostra, alterando do transparente-turvo para uma coloração ligeiramente amarela, o que não representa a quantidade de CN presente na amostra, superestimando o resultado da análise. O volume de AgNO_3 utilizado foi registrado para posteriores cálculos da concentração de HCN das amostras, conforme equação I:

$$\text{HCN}_{(\text{mg/KgMS})} = \frac{\left[\frac{Vt(\text{mL}) \times Fc \times 1000}{P_{\text{amostra}}(\text{g})} \right]}{\%ASE} \times 100 \quad (\text{I})$$

Onde,

HCN = ácido cianídrico (mg/Kg MS);

Vt = volume da titulação (mL);

Fc = fator de correção 1,08 (mg HCN /mL $AgNO_3$);

P = peso da amostra (g);

ASE = amostra seca em estufa (%).

Figura 7: Reagentes NH_4OH 6 N e KI 5%.



Fonte: Autora, 2025.

Figura 8: Amostra com turbidez



3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos erros e homogeneidade de variância pelos testes de Shapiro Wilk e Brown e Forsythe's, respectivamente. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial 4×3 (4 variedades \times 3 armazenamentos), com quatro repetições por tratamento, totalizando 48 unidades experimentais. Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância utilizando o software estatístico SISVAR. Para os resultados de pH e HCN, foi utilizado o seguinte modelo estatístico (equação II):

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + A_j + (V \times A)_{ij} + e_{ijk} \quad (II)$$

Onde: Y_{ijk} = observação das variáveis resposta para o tratamento "i" com a adição do aditivo "j".

μ = média geral;

Vi = efeito de variedade i , sendo i = Urubu, Manipeba, Ceará, Poti Branca;

Aj = efeito de armazenamento j , sendo j = *in natura*, resfriado, congelado;

$(V \times A)ij$ = efeito da interação da variedade $i \times$ armazenamento j ;

$eijk$ = erro aleatório.

4. RESULTADOS E DICUSSÃO

Os resultados de MS, MM e características das plantas no momento da colheita estão apresentados na tabela 2. Os valores de MS e MM foram em média de 28,14 e 7,07%, respectivamente. A altura média corresponde 2,20m e peso médio equivalente a 1,10 kg.

Tabela 2 – Teores de matéria seca, matéria mineral da parte aérea da mandioca e características da planta de diferentes cultivares.

Variedade	MS ¹ (%)	MM ² (%)	Altura (m)	Peso (kg)
Urubu	26,30	8,41	1,94	1,170
Manipeba	25,12	8,54	2,60	0,945
Ceará	33,92	5,39	2,33	0,780
Poti Branca	27,22	5,95	1,95	1,515

¹MS = matéria seca; ²MM = matéria mineral.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados das concentrações de HCN e pH podem ser observados na tabela 3. Os teores de HCN nas variedades de mandioca brava foram significativamente influenciados tanto pelo tipo de armazenamento ($P < 0,001$) quanto pela variedade ($P < 0,001$), e pela interação variedade \times armazenamento ($P = 0,021$). A concentração de HCN das amostras *in natura* e congeladas foram iguais e maiores que as amostras resfriadas. Menor concentração de HCN foi observado na variedade Urubu em comparação às demais, não diferindo entre si.

As amostras da variedade Urubu tiveram maior concentração de HCN quando foram analisadas pós-congelamento em comparação às amostras *in natura* e resfriada, evidenciando que o congelamento é eficiente em reduzir a volatilização do HCN dessa variedade. Por outro lado, a amostra da variedade Urubu quando foi resfriada, teve menor concentração de HCN em comparação à amostra *in natura*, não sendo eficaz em prevenir a redução da concentração desse ácido. As amostras das var. Manipeba *in natura* e congelada não tiveram diferenças nas concentrações de HCN, mas foi maior que a da amostra resfriada. Isso nos leva a inferir que o congelamento é eficiente em manter a concentração de HCN de uma amostra *in natura* da var. Manipeba mesmo após um longo período de congelamento. Similar à var. Urubu, o resfriamento não foi capaz de prevenir a volatilização do HCN das amostras. O mesmo

comportamento das amostras da var. Maniêba também foram observadas para a var. Ceará. A var. Poti Branca, foi a única em que as amostras *in natura* tiveram concentração de HCN superior às amostras que foram resfriadas ou congeladas, evidenciando que o armazenamento não foi eficaz em controlar a volatilização do HCN das amostras.

Tabela 3: Concentração de HCN (mg/kg MS) e valores de pH da parte aérea de diferentes variedades de mandioca

Armazenamento	Variedade				Média	P-valor ¹		
	Urubu	Manipeba	Ceará	Poti Branca		A	V	A×V
<i>In natura</i>	50,55 bB	77,53 aA	75,13 aA	72,38 aA	68,90 A	<0,001	<0,001	0,021
Resfriado (24 h)	36,52 aC	45,08 aB	43,58 aB	40,96 aB	41,53 B			
Congelado (30d)	61,11 bA	77,53 aA	76,09 aA	70,56 abB	70,37 A			
Média	49,39 b	65,45 a	64,93 a	61,30 a				
	pH				Média	<0,001	<0,001	<0,001
	Urubu	Manipeba	Ceará	Poti Branca				
<i>In natura</i>	5,67 bA	5,74 bB	5,63 bA	5,88 aA	5,73 A			
Resfriado (24 h)	5,56 bcA	6,02 aA	5,45 cB	5,65 bB	5,67 B			
Congelado (30d)	5,67 aA	5,76 aB	5,39 bB	5,73 aB	5,64 B			
Média	5.63 c	5.84 b	5.49 a	5.75 d				

¹A = armazenamento; V = variedade; A × V = interação armazenamento × variedade

Letras minúsculas na linha e maiúsculas na coluna iguais, respectivamente, não diferem entre pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

A concentração de HCN foi maior nas var. Maniêba, Ceará e Poti Branca, não diferindo entre si, em comparação à var. Urubu para as amostras *in natura*. Curiosamente, as amostras quando foram resfriadas, não apresentaram diferença nas concentrações de HCN entre as variedades. Em relação ao congelamento, maior concentração de HCN foi observado nas amostras das var. Maniêba e Ceará, em comparação à var. Urubu. A concentração de HCN das amostras congeladas da var. Poti Branca não diferiram dos demais tratamentos.

Houve efeito do armazenamento ($P<0,001$), da variedade ($P<0,001$) e interação variedade × armazenamento ($P<0,001$) nos valores de pH. Menor pH foi observado quando as amostras foram resfriadas ou congeladas em comparação às amostras *in natura*. Maior pH foi observado na var. Ceará em comparação às demais variedades. Ao analisar a interação, a var. Urubu não teve o pH alterado em função do tipo de armazenamento. Por outro lado, a var. Maniêba apresentou um aumento significativo no pH quando as amostras permaneceram resfriadas, sendo maior o pH das amostras *in natura* e congeladas, estas não diferindo entre si. O pH das var. Ceará e Poti Branca tiveram comportamento similar, sendo maior na amostra *in natura* em comparação às amostras resfriadas e congeladas, não diferindo entre si. Nas amostras *in natura*, o pH foi maior para a var. Poti Branca em comparação às demais. No armazenamento resfriado, o pH foi menor para a var. Ceará em comparação às var. Maniêba e Poti Branca,

mas não diferindo da var. Urubu. Nas amostras congeladas, o pH foi menor para a var. Ceará em comparação às demais, não diferindo entre si.

Os mecanismos de liberação e perda por volatilização do HCN ocorrem tanto em condições de baixa temperatura (resfriadas) quanto de baixas temperaturas extremas (congeladas), porém de formas distintas. O resfriamento permite liberação lenta e volatilização gradual, ao passo que em condições de congelamento, a enzima responsável pela liberação do HCN (linamarase) se torna inativa, podendo retornar a sua atividade quando em condições ótimas de temperatura. Isso nos levar a pressupor que a enzima linamarase possui propriedades bioquímicas que permitem a sua inativação e não destruição total de sua estrutura em condições extremas de temperatura, permitindo sua preservação e posteriormente reativação. Isso provavelmente explica a manutenção dos teores de HCN de amostras congeladas quando comparadas às amostras *in natura*. Padmaja (1989) observou valores de pH nas folhas frescas de mandioca na faixa de 5,9 a 6,1; valores estes próximos ao observado no presente estudo

Estudos relacionados atividade da enzima linamarase revelam a importância da temperatura e do pH no processo de degradação da linamarina. A linamarase apresenta estabilidade térmica na faixa de 15 a 30 °C e pH ótimo em torno de 6,0, condições que favorecem a conversão dos glicosídeos cianogênicos em ácido cianídrico (CORRÊA *et al.*, 2002). Portanto, mesmo sob condições de refrigeração, a enzima pode manter uma atividade residual suficiente para promover a liberação gradual de HCN, enquanto o congelamento, embora inative temporariamente a enzima, pode permitir reações enzimáticas rápidas e intensas ao descongelar, especialmente se a temperatura da amostra se aproximar da faixa ótima de atividade da linamarase.

5. CONCLUSÃO

O resfriamento não preserva os teores de HCN da parte aérea da mandioca, não sendo um método apropriado da amostra antes da análise. O congelamento se mostrou satisfatório para a manutenção das concentrações de ácido cianídrico do terço final da planta, podendo ser uma forma usada para armazenar amostra sem comprometer a avaliação de HCN.

6. IMPLICAÇÕES

O armazenamento a frio do terço final de mandioca é uma estratégia imprescindível quando não há possibilidade de realizar a análise laboratorial imediatamente após a colheita. Entre as técnicas de conservação, o congelamento se destaca, pois preserva de forma eficaz a concentração de HCN, mantendo-a próxima à observada em amostras *in natura*.

O HCN é altamente volátil e susceptível à degradação em condições ambientais normais, o que pode levar a uma subestimação significativa de seu conteúdo em análises realizadas dias após a colheita. Ao conservar a mandioca por congelamento, evita-se a perda desse composto, assegurando avaliações mais precisas.

REFERÊNCIAS

ADES TOTAH, J. J.; HERNÁNDEZ LUIS, F. Presencia de ácido cianhídrico en forrajes cultivados en México. **Agricultura Técnica en México**, v. 12, n. 1, p. 77–90, 1986.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY.

Toxicological profile for cyanide. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, 2006. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp8.pdf>. Acesso em: 18 maio 2025.

BOLHUIS, G. G. The toxicity of cassava roots. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 3, p. 176–185, 1954.

CARDOSO, A. P.; MIRANDA, R. M.; PAES, M. C. D.; SANTOS, M. A. dos. Importância da caracterização de variedades de mandioca para o consumo humano no Brasil. Brasília, DF: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2005. 60 p.

CORRÊA, A. D.; MORAES, E. A.; LIMA, D. U.; LANDGRAF, M. D.; SOARES, M. T. Caracterização química da farinha de raspa de mandioca de variedades utilizadas na alimentação animal. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 26, n. 2, p. 356–363, 2002.

CRC HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS. 104th ed. Boca Raton: CRC Press, 2023.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology–breeding research in crop improvement. **South African Journal of Botany**, v. 78, p. 1–15, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops and livestock products. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 18 jul. 2025.

HALL, A. H.; ISOM, G. E.; ROCKWOOD, G. A. (ed.). **Toxicology of Cyanides and Cyanogens: Experimental, Applied and Clinical Aspects**. 1. ed. Weinheim: John Wiley & Sons, 2015. 368 p. ISBN 978-1-119-97853-4.

JORGENSEN, K.; BAK, S.; BUSK, P. K.; SØRENSEN, C.; OLSEN, C. E.; PUONTI-KAERLAS, J.; MØLLER, B. L. Cassava plants with a depleted cyanogenic glucoside content in leaves and tubers. **Plant Physiology**, v. 139, n. 1, p. 363-374, 2005.

MCMAHON, J. M.; WHITE, W. L. B.; SAYRE, R. T. Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 288, p. 731-741, 1995

MAGALHÃES, J. A.; LOPES, E. A.; ARAÚJO NETO, R. B.; COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C. R. **Teores de matéria seca, proteína bruta e minerais em silagem de capim-elefante e parte aérea da mandioca**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA, 29., 2002, Porto Alegre. Resumos... Porto Alegre: SBMV, 2002. 1 p. (CD-ROM).

MONTAGNAC, J. A.; DAVIS, C. R.; TANUMIHARDJO, S. A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 8, p. 181–194, 2009.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. PubChem Database. Bethesda, MD: **National Library of Medicine**, 2025. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Acesso em: 2 jul. 2025.

NIOSH – NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. Hydrogen cyanide: NIOSH Pocket Guide. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention, 2025. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0333.html>. Acesso em: 03 jul. 2025.

OBILEKE, O. C. et al. Cyanide content of cassava and its processed products: a review. **International Journal of Food Science**, v. 2021, p. 1–10, 2021. DOI: 10.1155/2021/6678437.

OGUNNIYI, D. S. et al. Genetic diversity and population structure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) landraces in South America and Africa using SNP markers. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 1–12, 2021.

PADMAJA, G. Evaluation of techniques to reduce assayable tannin and cyanide in cassava leaves. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 37, p. 712–716, 1989.

PUBCHEM. Hydrogen Cyanide – Compound Summary for CID 768. **National Institutes of Health**. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/768>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SAKAMOTO, S. et al. Biosynthesis of cyanogenic glucosides in cassava: genes, enzymes, and regulation. **Plant Physiology**, v. 161, n. 1, p. 213–222, 2013.

SILVA, T. G. P. Concentração de ácido cianídrico na maniçoba (*Manihot* sp) in natura e conservada. 2015. 38 f. Monografia (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

SONG, Q. et al. Application of CRISPR-Cas9 in cassava to reduce cyanogenic glucosides and improve food safety. **Plant Biotechnology Journal**, v. 18, n. 1, p. 15–25, 2020.

UNITED STATES HOLOCAUST MEMORIAL MUSEUM. Zyklon B. Disponível em: <https://encyclopedia.ushmm.org>. Acesso em: 3 jun. 2025.

WANG, J. et al. The genome of the mesopolyploid crop cassava. **Nature Genetics**, v. 46, n. 10, p. 1029–1036, 2014.

ANEXO I

Figura 1- Variedade Urubu.



Fonte: Autora, 2025.

Figura 2- Variedade Ceará



Fonte: Autora, 2025.

Figura 3: Variedade Poti branca



Fonte: Autora, 2025.

Figura 4: Variedade Manipeba



Fonte: Autora, 2025.