

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO
E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

ANDRÉ VILHENA DE OLIVEIRA

**ÁRVORES FRUTÍFERAS DA AMAZÔNIA,
POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO E DE
EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

SANTA CRUZ DO SUL

2025

André Vilhena de Oliveira

ÁRVORES FRUTÍFERAS DA AMAZÔNIA, POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO E DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia Ambiental – Doutorado, Universidade de
Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial
para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Rosana de Cassia de Souza
Schneider

Coorientador: Prof. Dr. Adilson Ben da Costa

Santa Cruz do Sul

2025

Dedico esta tese de doutorado à Deus, In Memoriam de meu Pai João Luiz de Oliveira e minha Mãe Lucy Vilhena da Silva, de meu Tio Sebastião Vilhena, minha irmã Lais Vilhena de Oliveira e a Biza Nídia Neves. Bem como, a minha amada esposa Nidianne Nascimento Vilhena e meu filho primogênito Luiz Alberto Nascimento Vilhena, aos amigos, professores e familiares que me ajudaram nesta longa trajetória acadêmica, meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, a minha Família em especial a minha esposa Nidianne Nascimento Vilhena e a meu filho Luiz Alberto Nascimento Vilhena, por todo apoio e compreensão quando precisei me ausentar.

Agradeço aos meus orientadores da UNISC, em especial a Profa. Dra. Rosana de Cassia de Souza Schneider, pelo grande apoio incondicional, dedicação, confiança e incentivo nos momentos que mais precisei, desde o início até o fim desta trajetória. Ao meu Coorientador Prof. Dr. Adilson Ben da Costa, pelos momentos de grande aprendizagem que possibilitaram a realização desta pesquisa. E aos nobres docentes e discentes do PPGTA que em um esforço comum sobre as divergências e dificuldades encontradas na Pandemia de Covid 19, continuaram firmes no propósito do ensino e aprendizagem, no desenvolvimento do ensino, pesquisa e extensão, fortes e convictos que iríamos superar juntos os momentos difíceis vividos entre 2021 a 2025.

Agradeço à Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, pela oportunidade de fazer parte com muito orgulho e gratidão desta grande família, foram momentos de muito aprendizado e crescimento profissional vividos dentro desta Instituição de ensino, em especial aos momentos vividos com os Professores do PPGTA, Profa. Adriane, Prof. Ênio Machado, Profa. Liane Kipper e Prof. Eduardo Lobo.

Agradeço aos discentes do Laboratório da UNISC, que me ajudaram muito nas análises laboratoriais, em especial aos colegas Gustavo, Jocelene e Maurício Kersting.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM, ao Campus Manaus Centro – CMC, instituição de ensino que nos forneceu a estrutura inicial desta pesquisa e local onde desenvolvo minhas atividades profissionais como servidor público e Professor Efetivo.

Agradeço à Secretaria Municipal de Educação da cidade de Manaus – SEMED e à Secretaria Estadual de Educação do Amazonas – SEDUC, por terem disponibilizado o acesso as escolas que fazem parte do sistema educacional da rede de ensino.

Agradeço à Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por ter possibilitado o desenvolvimento deste estudo através do fomento de bolsa de estudo vinculada à esta pesquisa.

RESUMO

Dada a importância da região amazônica, este trabalho teve como objetivo contribuir para a exploração biotecnológica de sementes de frutíferas amazônicas e promover a integração com a educação ambiental, visando à conscientização socioambiental e ao desenvolvimento de práticas sustentáveis na região. O estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Campus Manaus Centro (CMC), e aplicado em escolas públicas da região metropolitana de Manaus. A pesquisa incluiu a implantação e implementação de “Viveiros Florestais Experimentais” para coleta, extração, pesagem e beneficiamento de frutos e sementes, análises laboratoriais para avaliar o potencial biotecnológico das sementes, a criação de um banco de germoplasma vegetal e o levantamento dos potenciais biotecnológicos dessas sementes. As atividades realizadas englobaram a preservação, germinação, produção, plantio e doação de mudas em ações de educação ambiental nas escolas envolvidas. Além disso, foi desenvolvido um aplicativo para celular destinado à divulgação do potencial das sementes de árvores frutíferas amazônicas, oferecendo suporte às atividades de educação ambiental e promovendo o acesso ao conhecimento sobre as frutíferas nativas da região. Foram analisados os principais bioprodutos das sementes, incluindo componentes como carboidratos, proteínas e lipídios, identificando critérios relevantes para o desenvolvimento do aplicativo. A pesquisa envolveu 134 alunos da educação básica e utilizou cinco espécies de frutíferas amazônicas em pesquisa sobre potencial biotecnológico e em atividades de educação ambiental. Os resultados que indicam o potencial biotecnológico de principalmente duas espécies, Ingá e Biribá, foram apresentados na tese, assim como potenciais aplicativos para uso em escolas, para sensibilização sobre o potencial de árvores frutíferas da Amazônia. Ambas demonstraram potencial biotecnológico e adequação às atividades de educação ambiental realizadas nas escolas participantes.

Palavras-chave: Sementes, potencial biotecnológico, educação ambiental, região amazônica

ABSTRACT

Given the importance of the Amazon region, this study aimed to contribute to the biotechnological exploration of Amazonian fruit tree seeds and promote integration with environmental education, aiming to raise socio-environmental awareness and develop sustainable practices in the region. The research was conducted at the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Amazonas (IFAM), Manaus Centro Campus (CMC), and applied in public schools within the metropolitan region of Manaus. The study included the establishment and implementation of "Experimental Forest Nurseries" for the collection, extraction, weighing, and processing of fruits and seeds, laboratory analyses to assess the biotechnological potential of the seeds, the creation of a plant germplasm bank, and the assessment of the biotechnological potential of these seeds. The activities carried out encompassed seed preservation, germination, production, planting, and donation of seedlings as part of environmental education initiatives in the participating schools. Additionally, a mobile application was developed to disseminate the potential of Amazonian fruit tree seeds, providing support for environmental education activities and enhancing access to knowledge about native fruit trees of the Amazon region. The main bioproducts of the seeds, including components such as carbohydrates, proteins, and lipids, were analyzed to identify relevant criteria for the app's development. The research involved 134 basic education students and utilized five Amazonian fruit species to investigate their biotechnological potential and incorporate them into environmental education activities. The results indicating the biotechnological potential of two main species, *Ingá* and *Biribá*, are presented in this thesis, along with potential applications for use in schools to raise awareness about the value of Amazonian fruit trees. Both species demonstrated biotechnological potential and suitability for environmental education activities carried out in the participating schools.

Keywords: biotechnological potential, environmental education, Amazon region

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Mapa representativo dos documentos que contém as palavras “fruit trees” e “amazon” a partir das bases Science direct, Web of Science e Scopus, considerando todos os anos de publicação registrados nestas bases.	17
Figura 3-2. Mapa representativo dos documentos que contém as palavras “ecology” “amazon forest” e “ seed dispersion” a partir das bases Science direct, Web of Science e Scopus, considerando todos os anos de publicação registrados nestas bases.	21
Figura 3-3. Mapa representativo dos documentos que contém as palavras “biotechnology”, “biodiversity” e “Amazônia” a partir das bases Science direct, Web of Science e Scopus, considerando todos os anos de publicação.....	27
Figura 3-4. Mapa representativo dos documentos que contém as palavras “biotecnologia”, “Amazônia” e “Sementes” a partir das bases Science Direct, Web of Science e Scopus, considerando todos os anos de publicação.	32
Figure 5-1. Research diagram of <i>I. edulis</i> exploitation to biotechnological and environmental education approach.	43
Figure 5-2. Location map of the collected <i>I. edulis</i> matrices. Georeferencing Laboratory at UNISC.	44
Figure 5-3. Research profile on <i>I. edulis</i> in the last five years (2019-2023) according to databases available in the Capes Periodicals Portal.	51
Figura 6-1. Exemplar de Biribá fotografado na região metropolitana de Manaus.	65
Figura 6-2. Corte de uma semente de Biriba coletada na região metropolitana de Manaus.	66
Figura 6-3. Câmara seca do banco de germoplasma de Biribá.	67
Figura 6-4. Espectros no infravermelho das amostras de sementes de Biribá moídas e secas, onde M1 a M5 são as matrizes coletadas na região metropolitana de Manaus e identificadas as regiões espectrais na Tabela 6-2.	70
Figura 7-1. Gráfico do resultado da pesquisa com os alunos das escolas envolvidas nas atividades de produção de viveiros com relação ao percentual de alunos que já comeram as frutas nativas açaí, Ingá, Taperebá, Buriti, Biribá e Cupuaçu.....	81
Figura 7-2. Aplicativos desenvolvidos com auxílio de alunos do curso de Ciência da Computação da Unisc, sendo: A) Aplicativo Amazon Tree; B) Aplicativo Amazon WiKi; C) Aplicativo Amazondex; D) Aplicativo EcoEcho; E) Aplicativo Find	

Tree; F) Aplicativo Raízes da Amazônia; G) Aplicativo Tree Analytics (Populares); H) Aplicativo Desafio Árvores.	85
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1. Pesquisas biotecnológicas que envolvem espécies de árvores frutíferas da Amazônia.....	30
Tabela 4-1. Espécies frutíferas selecionadas para este estudo.....	34
Tabela 4-2. Características da População envolvida neste estudo.....	37
Table 5-1. Seed measurements (cm), Purity (%), and Moisture content (%) of seeds collected. The results are sorted into matrices.....	47
Table 5-2. Ash composition obtained from the combustion of <i>I. edulis</i> seed samples. .	49
Table 5-3. The carbohydrate content of the analyzed <i>I. edulis</i> matrices.	50
Tabela 6-1. -Grau de pureza (%), Medidas das sementes (cm), de umidade determinada em secagem natural (%) e de perda de umidade fisiológica (%) das sementes coletadas por matriz.....	68
Tabela 6-2. Atribuições dos espectros no infravermelho das amostras das sementes das 5 matrizes estudadas de Biribá.	70
Tabela 7-1. Especificidades dos aplicativos desenvolvidos	85
Tabela 7-2. Análise das 8 versões de aplicativo para uso em escolas da região amazônica.	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Árvores Frutíferas e Amazônia	16
3.2	Exploração Biotecnológica da Amazônia	26
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	Delineamento da pesquisa	33
5	ARTIGO 1. BIOTECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL EDUCATION POTENTIAL OF <i>Inga edulis Martius</i> : SEED COLLECTED IN THE AMAZON – BRAZIL.....	39
5.1	Introduction	40
5.2	Materials and Methods	42
5.2.1	Seed Sampling and Treatment	43
5.2.2	Chemical Analysis of Seeds.....	45
5.2.3	Establishment of the Experimental Forest Nurseries.....	45
5.2.4	Statistical Analysis.....	46
5.2.5	Prospects for Biotechnological Utilization of <i>I. Edulis</i>	46
5.3	Results and Discussion.....	46
5.3.1	Seed Quality.....	46
5.3.2	Establishment of Experimental Nurseries.....	48
5.3.3	Seed Analysis for the Assessment of Biotechnological Potential.....	48
5.3.4	Organic Composition	49
5.3.5	Experimental approach.....	53
5.3.6	Environmental Approach	54
5.4	Conclusion.....	55

5.5	Acknowledgments	56
5.6	References	56
6	Artigo 2. POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE SEMENTES DE BIRIBÁ (<i>Annona mucosa</i>) COLETADO NA AMAZÔNIA - BRASIL	62
6.1	Introdução.....	63
6.2	Materiais e Métodos.....	65
6.2.1	Coleta, Biometria e Secagem das Sementes	66
6.2.2	Análise fisiológica das sementes.....	66
6.2.3	Formação do Banco de Germoplasma	66
6.2.4	Análise das sementes por espectroscopia no infravermelho	67
6.3	Resultados	67
6.4	Análise do potencial biotecnológico por intermédio da espectroscopia no infravermelho (FTIR)	69
6.5	Considerações finais.....	73
6.6	Referencias	74
7	PRODUTO TÉCNICO. APLICATIVO DE RECONHECIMENTO E APLICAÇÃO DE ÁRVORES FRUTÍFERAS NATIVAS PARA ESCOLAS DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	77
7.1	Introdução.....	77
7.2	Metodologia.....	79
7.3	Resultados	80
7.4	Discussão.....	88
7.5	Referencias	91
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
9	TRABALHOS FUTUROS	95
10	ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O DOUTORADO	96
11	REFERÊNCIAS	97
12	APENDICE A. Questionário Aplicado aos estudantes que participaram da pesquisa de organização de viveiros florestais.....	115

13	APENDICE B. Informações presentes no aplicativo com relação ao <i>Inga edulis</i>	117
14	APENDICE C. Informações presentes no aplicativo com relação ao <i>Euterpe oleracea</i>	141

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido mundialmente por sua rica diversidade de ecossistemas e biomas naturais, consequência de sua vasta diversidade climática e geofísica (Nascimento *et al.*, 2016). Devido a necessidade de consciência da população sobre a importância de seus biomas tem sido destacado a relevância da educação e do conhecimento técnico para preservação do meio ambiente, como o da Amazônia, difundidos em vários meios de comunicação, seja na mídia de massa, como nos meios empresarial, acadêmico e científico.

Nesse sentido, diversas áreas do conhecimento têm se dedicado em compreender essa crise Ambiental na Amazônia e no Mundo, visando apresentar possíveis soluções a redução da área de floresta (Ferreira *et al.*, 2015). Na América Latina, a gestão ambiental é extremamente complexa, envolve em sua raiz questões de caráter social, econômico, político e cultural e deve ser encarada de forma ampla, conjugando esforços nas mais diferentes frentes de atuação pela sustentabilidade (Soler *et al.*, 2021).

Para a conservação destes ambientes na sua característica natural, a escola dentre outros locais importantes, é o ambiente onde ocorrem trocas de informações, socialização e produção de conhecimentos que possibilitam o processo de desenvolvimento e aprendizagem crítico racional e de senso de responsabilidade do cidadão em formação, implicando em uma atuação constante de conscientização. No contexto da conservação do meio ambiente, mundialmente há uma grande preocupação com espécies invasoras, com programas importantes em vários países (Shackleton *et al.*, 2017). Do ponto de vista de educação ambiental, o conhecimento de espécies nativas frutíferas, bem como suas relações com a biodiversidade local, pode ajudar, no controle destas espécies invasoras, em regiões como na Amazônia e mitigar perdas de biodiversidade. A invasão biológica pode ser um fator responsável por pragas e doenças e pode ocorrer pela migração assistida, ou seja, o movimento intencional de espécies (Koskela *et al.*, 2014). Considerar a potencialidade das árvores frutíferas regionais também é valorizar os bioprodutos e moléculas bioativas que elas podem fornecer, com alto potencial nutricional e econômico (De Araujo *et al.*, 2021).

Esta pesquisa propõe explorar o potencial biotecnológico das sementes de espécies frutíferas da Amazônia, aliado a ações de educação ambiental. Realizada no ambiente acadêmico e técnico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Campus Manaus Centro (CMC), e em escolas públicas de Manaus e região

metropolitana, a pesquisa busca não apenas investigar esse potencial, mas também despertar novos valores socioambientais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas à prática ambiental sustentável.

Assim, o ineditismo desta tese está centrado em aspectos interconectados que contribuem para a aprendizagem e a exploração biotecnológica de sementes frutíferas da Amazônia, integrando conhecimento científico e tecnológico com a educação ambiental.

Este estudo considera que as alterações nos ambientes naturais da Amazônia, decorrentes da degradação de áreas ricas em biodiversidade e outros recursos naturais, representam ameaças incalculáveis a curto e longo prazo, como a crescente escassez de água nos últimos anos. Assim, a mudança e conscientização ambiental necessárias devem fomentar um sentimento de pertencimento e compreensão do meio ambiente por toda a sociedade.

Dado o intenso uso de tecnologias em dispositivos móveis por pessoas de diversas idades, a simbiose entre ações de educação ambiental e informática pode gerar benefícios socioambientais significativos para a floresta amazônica. Portanto, a pesquisa também se propõe a desenvolver tecnologia de fácil acesso para disseminar conhecimento sobre as potencialidades biotecnológicas das árvores frutíferas da Amazônia.

Por último destacamos que esta tese apresenta inicialmente no capítulo de Fundamentação teórica, o estado da arte sobre o potencial biotecnológico das árvores frutíferas da Amazônia, e nos resultados dois capítulos relativos aos resultados obtidos até o momento na análise das sementes de *Inga Edulis* e *Annona mucosa*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Explorar o potencial biotecnológico das sementes de espécies frutíferas da Amazônia, integrando essa investigação a ações de educação ambiental, com o objetivo de promover a conscientização socioambiental e o desenvolvimento de práticas sustentáveis na região.

2.2 Objetivos específicos

Analisar os principais bioprodutos das sementes de frutíferas da Amazônia com potencial biotecnológico, focando em componentes como carboidratos, proteínas e lipídios, visando identificar potenciais usos para elas.

Revisar as pesquisas existentes sobre o potencial biotecnológico das espécies frutíferas da Amazônia, com o intuito de sintetizar os avanços científicos alcançados e identificar novas oportunidades para inovação e sustentabilidade na região.

Propor uma solução de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para apoiar a divulgação do potencial das sementes das árvores frutíferas da Amazônia, facilitando o acesso ao conhecimento científico e promovendo a conscientização sobre a importância da biodiversidade amazônica.

Realizar atividades de educação ambiental integradas à coleta, preparação, preservação e plantio de sementes em viveiros, promovendo a conscientização e o envolvimento de escolas na preservação e sustentabilidade da floresta amazônica.