

RAQUEL ELVIRA COLA

CIENCIOMETRIA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E DIVERGÊNCIA GENÉTICA
DE *Genipa americana* L. PARA FINS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

RECIFE
Pernambuco – Brasil
Fevereiro – 2022

RAQUEL ELVIRA COLA

CIENCIOMETRIA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E DIVERGÊNCIA GENÉTICA
DE *Genipa americana* L. PARA FINS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gallo

Coorientadora: Prof^{ta}. Dr^a. Maria da Penha Moreira Gonçalves

RECIFE
Pernambuco – Brasil
Fevereiro – 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C683c Cola, Raquel Elvira
CIENCIOMETRIA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE *Genipa americana* L. PARA
FINS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL / Raquel Elvira Cola. - 2022.
101 f. : il.

Orientador: Ricardo Gallo.
Coorientadora: Maria da Penha Moreira Goncalves.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Florestais, Recife, 2022.

1. revisão sistemática. 2. ocorrência geográfica. 3. seleção genética. 4. sementes florestais. 5. jenipapo. I. Gallo,
Ricardo, orient. II. Goncalves, Maria da Penha Moreira, coorient. III. Título

CDD 634.9

RAQUEL ELVIRA COLA

**CIENCIOMETRIA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E DIVERGÊNCIA
GENÉTICA DE *Genipa americana* L. PARA FINS DE RESTAURAÇÃO
FLORESTAL**

Aprovado em: **24 de fevereiro de 2022.**

Banca examinadora:

Prof.^a. Dr.^a. Natane Amaral Miranda
Departamento de Silvicultura – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.^a. Dr.^a. Thais Roseli Corrêa
Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade – Universidade Estadual do Maranhão

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Gallo
Departamento de Ciência Florestal – Universidade Federal Rural de Pernambuco

RECIFE
Pernambuco – Brasil
Fevereiro – 2022

AGRADECIMENTOS

Esses dois anos de mestrado, na condição especial de ser conduzido na pandemia, tem um peso muito grande no espaço-tempo que ocupa. Não só aprendizados profissionais foram conquistados, mas também desafios pessoais e internos foram travados e vencidos. Devo isso a todos que estiveram comigo nesse tempo.

Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal e a todos os professores que participaram do meu caminhar nesses anos, pela ajuda e oportunidade oferecidas.

À CNPq, pelo apoio financeiro indispensável.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Gallo, pelo acolhimento, inspiração, apoio e conhecimentos passados, essa dissertação só pôde ser construída por sua causa. Também à minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Maria da Penha Moreira Gonçalves, pelas contribuições valiosas.

Aos meus pais, pelo apoio incansável em todos os sentidos, e pelo orgulho que sempre demonstram por mim. Aos meus amigos pessoais e companheiros da UFRPE, que prestaram suporte imprescindível a distância ou presencialmente, seja por videochamadas, conversas, ou ajuda em campo e laboratório horas a fio.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 <i>Genipa americana</i> L.....	15
2.2 Clima e ocorrência de espécies florestais no Brasil	16
2.3 Revisão sistemática de literatura e cienciometria na área florestal	17
2.4 Fontes de material genético.....	18
2.5 Divergência genética genotípica a partir de caracteres fenotípicos.....	19
2.6 Genética na restauração florestal.....	20
CAPÍTULO I	29
<i>Genipa americana</i> L.: CIENCIOMETRIA E OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA	29
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1 Desenvolvimento científico acerca da <i>G. americana</i>	34
2.2 Ocorrência de <i>G. americana</i> no Brasil e influência de variáveis ambientais.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Desenvolvimento científico acerca da <i>G. americana</i>	35
3.1.1 Tratamentos em sementes de <i>G. americana</i>	40
3.1.2 Comportamento de mudas de <i>G. americana</i>	42
3.1.3 Interação de componentes químicos com plantas de <i>G. americana</i>	43
3.1.4 Interações ecológicas interespecíficas com plantas de <i>G. americana</i>	44
3.1.5 Aspectos genéticos da <i>G. americana</i>	45
3.2 Ocorrência no Brasil.....	47
4. CONCLUSÃO	56
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
CAPÍTULO II	63
SELEÇÃO GENÉTICA DE ÁRVORES MATRIZES DE <i>Genipa americana</i> L. NA RESERVA BIOLÓGICA DE SALTINHO – PE	63
1. INTRODUÇÃO	66
2. MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1 Área de amostragem.....	68
2.2 Coleta de dados	69
2.3 Espacialização dos indivíduos.....	69
2.4 Caracterização física e físico-química dos frutos.....	69
2.5 Caracterização biométrica das sementes	70
2.6 Análise da emergência das sementes.....	71

2.7 Análises estatísticas de parâmetros genéticos, divergência e seleção genética.....	71
2.8 Índice de seleção de matrizes	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.1 Espacialização dos indivíduos.....	75
3.2 Variáveis analisadas em frutos e sementes de <i>G. americana</i>	81
3.3 Parâmetros genéticos em frutos, sementes e plântulas de <i>G. americana</i>	83
3.4 Análise multivariada em frutos, sementes e plântulas de <i>G. americana</i>	86
3.5 Índice de seleção de matrizes de <i>G. americana</i>	90
4. CONCLUSÃO	93
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
CONCLUSÃO GERAL	101

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I	29
<i>Genipa americana</i> L.: DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO, CIENCIOMETRIA E OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA	29
Tabela 1. Lista das variáveis ambientais extraídas da base de dados NeoTropTree.....	34
CAPÍTULO II	63
SELEÇÃO GENÉTICA DE ÁRVORES MATRIZES DE <i>Genipa americana</i> L. NA RESERVA BIOLÓGICA DE SALTINHO – PE	63
Tabela 1. Variáveis físicas e físico-químicas para caracterização de frutos de <i>Genipa americana</i> L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.....	70
Tabela 2. Lista de variáveis para caracterização de frutos e sementes de <i>Genipa americana</i> L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.....	73
Tabela 3. Dados gerais dos indivíduos de <i>Genipa americana</i> L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	75
Tabela 4. Distâncias (m) entre indivíduos de <i>Genipa americana</i> L. da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	80
Tabela 5. Médias das variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de <i>Genipa americana</i> L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	81
Tabela 6. Componentes de variância das variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de <i>Genipa americana</i> L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	82
Tabela 7. Ordenamento das 11 matrizes de <i>Genipa americana</i> L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	89

LISTA DE FIGURAS

2. REVISÃO DE LITERATURA	15
Figura 1. Descrição do processo de revisão sistemática de literatura. Fonte: Sampaio e Mancini (2007).....	17
CAPÍTULO I	29
<i>Genipa americana</i> L.: DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO, CIENCIOMETRIA E OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA	29
Figura 1. Produção científica anual sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética <i>Genipa americana</i> L. das bases de dados Scopus e Web of Science.....	36
Figura 2. a) Principais revistas; e b) fontes mais citadas localmente sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética <i>Genipa americana</i> L. das bases de dados Scopus e Web of Science.....	37
Figura 3. a) Produção científica global; e b) países mais citados sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética <i>Genipa americana</i> L. das bases de dados Scopus e Web of Science.....	38
Figura 4. Trabalhos mais citados globalmente sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética <i>Genipa americana</i> L. das bases de dados Scopus e Web of Science.....	39
Figura 5. Palavras-chave mais mencionadas sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética <i>Genipa americana</i> L. das bases de dados Scopus e Web of Science.....	40
Figura 6. Distribuição dos sites de ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. nos biomas do território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	47
Figura 7. Contribuição das variáveis ambientais e de vegetação nos dois principais componentes para a ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	48
Figura 8. a) Componente principal das variáveis ambientais e; b) Quantidade de sites (locais) que são influenciados pelas variáveis ambientais nos componentes principais que determinam a ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	49
Figura 9. Valores gerais de a) temperatura anual; b) precipitação anual; e c) altitude nos locais de ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	51
Figura 10. Quantidade de sítios de ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. em território brasileiro por a) temperatura média anual; b) precipitação anual; c) altitude; e d) regime climático, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	52
Figura 11. Mapas das variáveis ambientais em relação aos sítios de ocorrência de <i>Genipa americana</i> L. em território brasileiro, sendo: a) temperatura média anual; b) precipitação	

anual; c) altitude; e d) regime climático, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).....	53
CAPÍTULO II	63
SELEÇÃO GENÉTICA DE ÁRVORES MATRIZES DE <i>Genipa americana</i> L. NA RESERVA BIOLÓGICA DE SALTINHO – PE	63
Figura 1. Mapa da Reserva Biológica de Saltinho, Tamandaré – PE, área da coleta de dados do estudo.....	68
Figura 2. Representação das variáveis biométricas de sementes para caracterização de sementes de <i>Genipa americana</i> L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.....	71
Figura 3. Distribuição dos indivíduos de <i>Genipa americana</i> L. em relação a a) circunferência a altura do peito (CAP); e b) altura na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	76
Figura 4. Localização dos indivíduos de <i>Genipa americana</i> L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	78
Figura 5. Mapa de calor (densidade de Kernel) dos indivíduos de <i>Genipa americana</i> L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	79
Figura 6. Matriz de correlação genética entre as variáveis de caracterização variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de <i>Genipa americana</i> L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.....	85
Figura 7. Dendrograma de dissimilaridade genética baseado na distância da Mahalanobis de valores genotípicos padronizados pelo método UPGMA entre 11 matrizes de <i>Genipa americana</i> da Reserva Biológica de Saltinho – Tamandaré, PE.....	86
Figura 8. Contribuição das variáveis nos dois principais componentes para a dissimilaridade genética de <i>Genipa americana</i> L.....	87
Figura 9. Correlação das variáveis nos componentes principais que determinam a dissimilaridade genética de <i>Genipa americana</i> L.....	88
Figura 10. Correlação das variáveis com as matrizes nos componentes principais que determinam a dissimilaridade genética de <i>Genipa americana</i> L.....	89

COLA, RAQUEL ELVIRA. **CIENCIOMETRIA, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E DIVERGÊNCIA GENÉTICA DE *Genipa americana* L. PARA FINS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL**. 2022. Orientador: Ricardo Gallo. Coorientadora: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

RESUMO

Uma espécie nativa importante para os projetos de restauração florestal e que exige um acervo maior de informações genéticas é a *Genipa americana* L., da família Rubiaceae, popularmente conhecida como jenipapo. Assim, o objetivo do trabalho é subsidiar projetos de restauração florestal no Brasil com a *Genipa americana*, estudando a ocorrência no país, a produção científica e selecionando árvores matrizes a partir da divergência genética em frutos, sementes e mudas da espécie. Para isso, no primeiro capítulo foi realizado o estudo do desenvolvimento do conhecimento científico sobre os aspectos fisiológicos da *G. americana* entre os anos de 2010-2021 e também a distribuição da ocorrência geográfica da espécie no Brasil. Já no segundo capítulo, foi feita a seleção de árvores matrizes de *G. americana* da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil. Com relação ao seu estado de desenvolvimento científico, não há estudos suficientes em relação a caracterização de populações que envolvam testes de variáveis abióticas, afim de determinar possíveis locais de fontes de material genético/reprodutivo. Sobre a distribuição no Brasil, a espécie está bem adaptada a altas temperaturas, altas taxas de precipitação e baixos relevos. A localização das árvores na Reserva Biológica de Saltinho é definida pela luminosidade, fazendo com que a maioria dos indivíduos se concentrem perto de uma clareira produzida pela construção de uma rodovia dentro do fragmento. Por meio da análise dos parâmetros genéticos, foi possível definir que há maior divergência genética entre progênies do que entre matrizes. Quanto ao índice de seleção de matrizes, as que servirão como melhores fonte de material genético são as matrizes 1, 4 e 6, respectivamente, que estão em diferentes grupos na análise de agrupamento pelo método de UPGMA. Essas matrizes estiveram numa melhor colocação no ranking na maioria das variáveis, considerando sua divergência genética. Por fim, a Reserva Biológica de Saltinho é uma boa fonte de material genético/reprodutivo para a espécie *G. americana* para fins de restauração florestal.

Palavras-chave: revisão sistemática, ocorrência geográfica, seleção genética, sementes florestais, jenipapo.

COLA, RAQUEL ELVIRA. **SCIENTIOMETRY, GEOGRAPHIC DISTRIBUTION AND GENETIC DIVERGENCE OF *Genipa americana* L. FOR FOREST RESTORATION**. 2022. Advisor: Ricardo Gallo. Co-advisor: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

ABSTRACT

An important native species for forest restoration projects requiring a more significant collection of genetic information is *Genipa americana* L., from the Rubiaceae family, popularly known as genipap. Thus, the objective of the work is to subsidize forest restoration projects in Brazil with *Genipa americana*, studying the occurrence in the country, scientific production, and selecting mother trees from the genetic divergence in fruits, seeds, and seedlings of the species. For this, in the first chapter, a study was carried out on the development of scientific knowledge about the physiological aspects of *G. americana* between the years 2010-2021 and the distribution of the geographic occurrence of the species in Brazil. In the second chapter, the selection of mother trees of *G. americana* from the Saltinho Biological Reserve, in Tamandaré – PE, Brazil, was carried out. Regarding its state of scientific development, there are not enough studies regarding the characterization of populations that involve tests of abiotic variables to determine possible locations of sources of genetic/reproductive material. Regarding the distribution in Brazil, the species is well adapted to high temperatures, high precipitation rates, and low relief. The location of trees in the Saltinho Biological Reserve is defined by luminosity, causing most individuals to concentrate near a clearing produced by constructing a road within the fragment. Through the analysis of genetic parameters, it was possible to define more significant genetic divergence between progenies than between matrices. As for the matrix selection index, the ones that will serve as the best source of genetic material are the matrices 1, 4, and 6, respectively, which are in different groups in the cluster analysis by the UPGMA method. These matrices were better positioned in the ranking in most variables, considering their genetic divergence. Finally, the Saltinho Biological Reserve is a good source of genetic/reproductive material for the *G. americana* for forest restoration purposes.

Keywords: systematic review, geographic occurrence, genetic selection, forest seeds, genipap.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A supressão ambiental vem sendo tópico de discussão mundial, com novas iniciativas, uma vez que o nível de biodiversidade é ameaçado e atacado continuamente ao longo das décadas (FIREBANKS-QUEVEDO *et al.*, 2022). O uso de terra para diferentes atividades humanas, como a agricultura, pecuária e expansão urbana, junto com as pressões ambientais relacionadas, é o principal precursor da redução da biodiversidade terrestre e da alteração na cobertura terrestre original global, que perdeu de 4,7 milhões de hectares florestais por ano entre 2010-2020 (FAO; UNEP, 2020).

O Brasil já perdeu 87 % da sua cobertura florestal inicial (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020), com as pastagens sendo a principal causa de perda florestal, somando 154 milhões de hectares ocupados para esse fim (MAPBIOMAS BRASIL, 2021). Por exemplo, na Amazônia Legal Brasileira houve um aumento de 22 % na taxa de desmatamento entre 2020-2021 (INPE, 2021), 30 % entre 2018-2019 na Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2020), 25 % entre 2020-2021 no Cerrado (WWF BRASIL, 2021), e 405 % na Caatinga entre 2019-2020, devido ao SAD Caatinga que entrou em operação em 2020, aumentando a área de detecção (AZEVEDO *et al.*, 2021). Assim, além da preservação urgente dos remanescentes florestais do país, é necessário incentivos à restauração florestal desses biomas, com o intuito de frear o declínio dos ecossistemas brasileiros.

Muitas vezes, apenas a etapa do plantio de árvores é considerada equivocadamente como o ato de restaurar um local degradado, omitindo todo seu caráter multidisciplinar, fazendo com que os esforços financeiros e laborais sejam em vão, já que tratar a restauração dessa forma culmina na falha dos projetos (CHAZDON; BRANCALION, 2019; HOLL; BRANCALION, 2020). A restauração florestal será fortemente incentivada nas próximas décadas, porém é necessário saber como desenvolver esse processo de forma eficiente, tendo resultados permanentes (BRANCALION; HOLL, 2020).

Alguns dos principais norteadores dos projetos de restauração são as variáveis climáticas e ambientais. Essas variáveis são muito influentes na sobrevivência da comunidade florestal, já que muitos estudos se observa a mortalidade de espécies vegetais devido às condições climáticas (HARTMANN *et al.*, 2018; SEIDL *et al.*, 2017). Segundo Anderegg *et al.* (2020), as maiores causas dos distúrbios florestais decorrentes das mudanças climáticas são os incêndios, secas, agentes bióticos (como insetos e patógenos), tempestades com furacões e geadas.

A incerteza se as condições ambientais futuras serão adequadas para as florestas é motivo de preocupação (ANDEREGG *et al.*, 2020). Contudo, a adaptação da vegetação guiada pelas mudanças climáticas também pode servir de amortecimento no impacto que os serviços ecossistêmicos sofrerão (TEMPERLI; BUGMANN; ELKIN, 2013). Por isso, surge a necessidade do conhecimento de quais características ambientais as espécies toleram e os possíveis cenários à que elas se adaptariam.

Outro aspecto que deve ser considerado para o sucesso da restauração florestal a curto e longo prazo é a composição genética do material de reprodução utilizado nos projetos (THOMAS *et al.*, 2014). Populações individuais tendem a ter sua diversidade genética reduzida tanto por seleção natural quanto por deriva genética (ELLEGREN; GALTIER, 2016; THURMAN; BARRETT, 2016), e os planos de restauração que não consideram a dinâmica genética a longo prazo enfrentarão esses gargalos, fazendo com que a população entre em declínio. Porém, mesmo com esse risco, são poucos os estudos que consideram a filogenética ou a diversidade genética associados à restauração (NETO *et al.*, 2014; SCHWEIZER *et al.*, 2015).

A qualidade genética visa assegurar a adaptação atual e futura de espécies florestais em determinados locais e promover a resiliência e manutenção das populações ao longo do tempo (ATKINSON *et al.*, 2021). Alguns estudos genéticos com espécies nativas brasileiras já vêm sendo desempenhados no intuito de garantir o sucesso de áreas florestais restauradas, como o trabalho de Siqueira *et al.* (2021).

Um detalhe que impede a ampliação da aplicação dos conhecimentos adquiridos em pesquisas com determinadas espécies, é que a maioria dos estudos tem apenas efeitos locais, sem possibilitar a generalização dos resultados em outros ambientes similares (GALÁN-ACEDO *et al.*, 2021). Por isso, métodos que consigam servir de protocolo de fácil desempenho, e que consigam extrair o valor genotípico de determinadas populações, excluindo a influência do ambiente nos resultados, são cada vez mais fundamentais, por conseguir gerar conhecimento e aplicabilidade em projetos de restauração florestal em diversos locais.

Uma espécie nativa importante para esses projetos e que exige um acervo maior de informações genéticas é a *Genipa americana* L., popularmente conhecida como jenipapo. Os principais usos dessa espécie são farmacológicos (MADEIRA *et al.*, 2018; NERI-NUMA *et al.*, 2020) e na pigmentação alimentícia natural (BRAUCH *et al.*, 2016; NÁTHIA-NEVES *et al.*, 2021), mas também é recomendada para programas de restauração florestal (CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015; SANTANA *et al.*, 2012).

O destaque dessa espécie para a restauração se caracteriza pela sua utilização como alimento e abrigo para fauna local (RAGUSA-NETTO, 2015; CUNHA; BERNHARD; VOGT, 2020), facilitando núcleos de diversidade com a chegada de novas espécies pela fauna ao seu entorno. Ainda, a *G. americana* pode ser implementada em áreas com restrições, passíveis de inundações e com solos hidromórficos, sendo uma espécie resistente a essas condições (BRANDANI *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2018).

Entretanto, apesar das propriedades que despertam interesse comercial sobre a *G. americana*, são insuficientes os estudos que tratam da propagação e produção de mudas de qualidade dessa espécie, bem como sobre suas informações genéticas. Por isso, ela foi introduzida no programa “Plantas para o Futuro”, que visa ampliar o conhecimento sobre espécies da flora brasileira e seus potenciais usos (VIEIRA; CAMILLO; CORADIN, 2018).

Na busca por mais informações sobre populações de *G. americana*, Teixeira (2009) observou que a espécie esteve entre as 10 espécies de maior valor de importância na Reserva Biológica de Saltinho, Tamandaré – PE, em 2009, com uma densidade de 7,62 indivíduos/hectare. Em outro levantamento fitossociológico em um sub-bosque de *Pinus caribea* Morelet. var. *caribaea* dentro da reserva, obteve uma densidade relativa de 0,76% (LOPES *et al.*, 2016).

Considerando o destaque que a *G. americana* tem na Reserva Biológica de Saltinho e falta de informação acerca da espécie, o objetivo geral do trabalho é subsidiar projetos de restauração florestal no Brasil com a *Genipa americana*, estudando a ocorrência no país, a produção científica e selecionando árvores matrizes a partir da divergência genética em frutos, sementes e mudas da espécie. Com isso, as hipóteses abordadas são: (i) as variáveis ambientais influenciam na ocorrência de *G. americana* pelo Brasil; (ii) faltam estudos recentes que subsidiem a aplicação de *G. americana* em projetos de restauração; e (iii) a população de *G. americana* da Reserva Biológica de Saltinho é uma boa fonte de material reprodutivo da espécie.

Os objetivos específicos são: Capítulo 1: estudar a influência das variáveis ambientais na ocorrência de *G. americana* no Brasil e realizar uma revisão sistemática do desenvolvimento científico de *G. americana* nos últimos 11 anos; e Capítulo 2: selecionar árvores matrizes para coleta de sementes e produção de mudas da espécie *G. americana*, por meio do estudo de divergência genética em frutos e sementes dessas matrizes

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *Genipa americana* L.

Genipa americana é uma espécie nativa pertencente à família botânica Rubiaceae. Podendo chegar a 30 m de altura, ocorre do México ao Brasil, por todo território brasileiro, exceto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (GOMES, 2020). É uma planta semidecídua, heliófita, ocorrendo principalmente em áreas úmidas. Sua floração ocorre entre outubro e dezembro, e quando os frutos amadurecem, entre novembro e março, as sementes são produzidas em abundância (DONADIO; MORO; SERVIDONE, 2004).

A reprodução da *G. americana* é por meio da apomixia e alogamia, sendo uma espécie dioica. A dispersão é por barocoria, hidrocoria e zoocoria por mamíferos, e a polinização por mamangavas *Bombus morio* (Swederus, 1787), e *Eicharis rustica flava* (Friese, 1900) (CARVALHO, 2003).

O sistema de cruzamento da espécie é aleatório, com Manoel *et al.*, 2015a encontrando uma taxa de cruzamento multiloco de 0,94 para a *G. americana*. O número de cromossomos da espécie é $2n = 22$, comum na família Rubiaceae (CORREA, 2004). Em relação ao tamanho de genoma, Queiroz (2009) apresentou 510 nucleotídeos, correspondendo a 170 aminoácidos, num sequenciamento do gene endo- β -mananase da *G. americana*.

Segundo Mori, Piña-Rodrigues e Freitas (2012), são produzidas 14.280 sementes kg^{-1} e o tratamento para quebra de dormência deve ser por imersão das sementes em água a temperatura ambiente por 48 horas. Também classificam as sementes de *G. americana* como de natureza da semente intermediária, com 50 % de porcentagem de germinação e com dormência física, devido à mucilagem presente no fruto que limita o suprimento de oxigênio para o embrião (TAYLORSON; HENDRICKS, 1977).

Essa espécie possui múltiplas potencialidades econômicas, como o uso do composto capaz de desenvolver coloração azul, tornando-se um possível substituto dos pigmentos sintéticos (BRAUCH *et al.*, 2016), uso dos extratos frutíferos na síntese de nanopartículas de ouro (KUMAR *et al.*, 2016), diversas aplicações médicas e farmacêuticas (VASCONCELOS *et al.*, 2017) e ainda aplicado na construção naval e carpintaria (CARVALHO, 2003). Apesar do crescimento lento (CARVALHO, 2003), é muito procurada pela fauna, além de ser considerada seletiva higrófila, a *G. americana* também pode ser utilizada para restauração florestal como fitorremediador (SANTANA *et al.*, 2012; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015) .

2.2 Clima e ocorrência de espécies florestais no Brasil

A biodiversidade florestal tropical está basicamente dependente das florestas de formações secundárias, já que a maioria das formações primárias já foram alteradas (HANSEN *et al.*, 2013). Com isso, vem as alterações nos habitats e nas condições locais dos ecossistemas, que acabam reduzindo substancialmente e alterando a composição de espécies, mesmo em ecossistemas distintos como os da Amazônia e Cerrado (BELLARD *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2019; VELAZCO *et al.*, 2019).

A questão que deve ser levantada sobre a sobrevivência das espécies com as mudanças climáticas é: o que acontece com elas quando o nicho ecológico a que elas são adaptadas não ocorre mais na amplitude de distribuição geográfica em que elas se encontram atualmente? (WIENS, 2016). As possíveis consequências nesse cenário são: (i) adaptação das espécies à outros nichos; (ii) migração para outras regiões em busca do nicho original; e (iii) extinção (HOLT, 1990; MORITZ; AGUDO, 2013).

A amplitude do nicho geográfico é fator determinante nas respostas dessas espécies em relação às variáveis climáticas (PIMM *et al.*, 2014; SLATYER; HIRST; SEXTON, 2013). Espécies com maior abrangência geográfica se adaptam à uma gama maior de condições ambientais distintas e variação de disponibilidade de recursos, fazendo com que sejam menos susceptíveis ao declínio em possíveis cenários de mudanças climáticas (SILVA *et al.*, 2019). Já espécies com regiões de ocorrência mais limitadas podem sofrer consequências negativas em diferentes situações de alteração climática, pois estão limitadas à adequação em poucas variações ambientais (SLATYER; HIRST; SEXTON, 2013; SHELDON, 2019).

Porém, nos trópicos o conhecimento das respostas das espécies vegetais às mudanças no ambiente ainda precisa ser mais fundamentado, por serem muito complexas (CORLETT, 2016). Como as florestas tropicais não possuem uma ampla variação de temperatura, as espécies acabam se tornando mais sensíveis as mudanças climáticas (SHELDON *et al.*, 2018). Por isso, já que o Brasil possui a flora mais rica do mundo, com a Mata Atlântica e o Cerrado sendo considerados *hotspots* (FORZZA *et al.*, 2012), alguns trabalhos recentes, como o de Borges *et al.* (2021), já vem sendo feitos para determinar as características de ocorrência de espécies específicas, e também para avaliar a influência do clima e do uso da terra na distribuição ao longo do território, como o de Leão *et al.* (2021).

2.3 Revisão sistemática de literatura e cienciometria na área florestal

Segundo Sampaio e Mancini (2007), a revisão sistemática consiste na pesquisa utilizando fonte de dados da literatura como base, agregando evidências que complementam uma estratégia de intervenção científica, por meio de métodos sistematizados de busca e síntese das informações coletadas. Essa metodologia compõe o estudo da cienciometria, que é caracterizada pela pesquisa quantitativa da produção científica, medindo especificamente as publicações (AÑINO RAMOS *et al.*, 2021). É uma ferramenta que auxilia tanto para agregar conhecimento a respeito de determinado tema, quanto para descobrir possíveis lacunas que ainda não foram exploradas nos assuntos (ARAÚJO *et al.*, 2021). A Figura 1 esclarece como deve ser feito o processo de revisão sistemática de literatura.

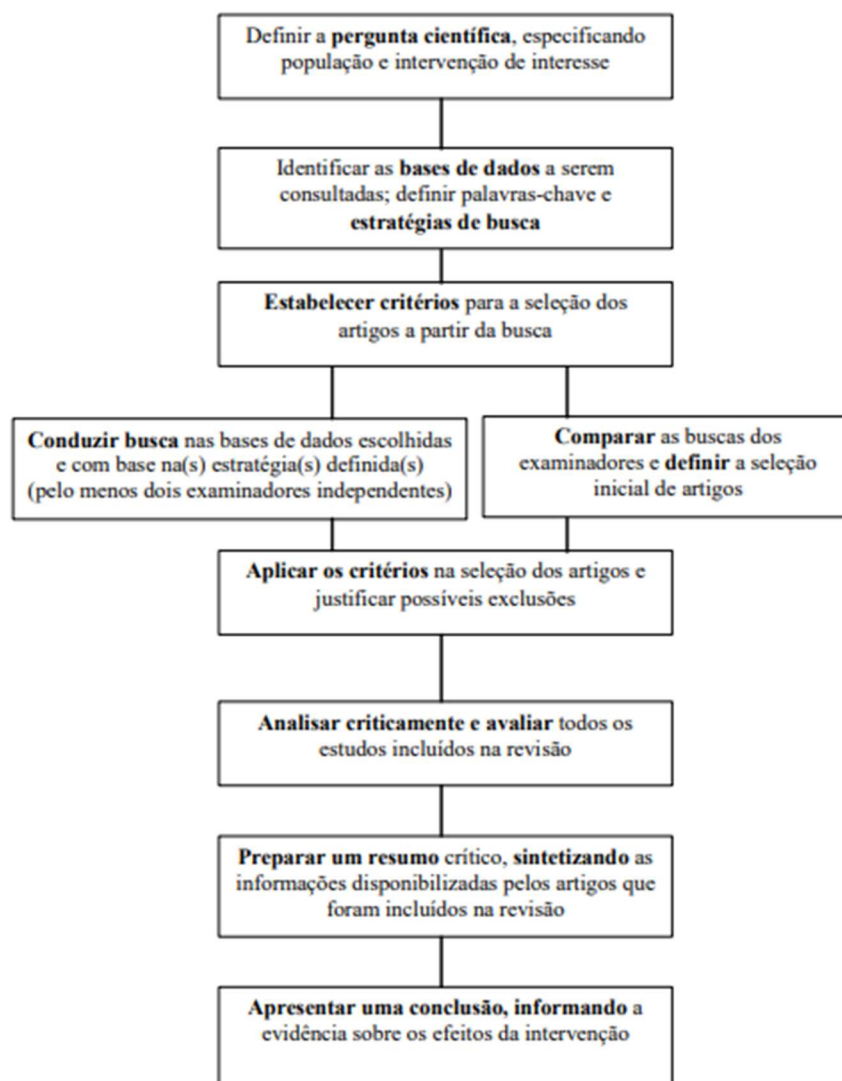


Figura 1. Descrição do processo de revisão sistemática de literatura. Fonte: Sampaio e Mancini (2007).

Essa metodologia vem sendo implementada no campo florestal para diversos objetivos, como reunir inovações no setor industrial (WEISS; LUDVIG; ŽIVOJINOVIĆ, 2020), composição arbórea urbana (FREITAS *et al.*, 2020), serviços ecossistêmicos (PEREVOCHTCHIKOVA *et al.*, 2019), sensoriamento remoto no monitoramento de florestas (GYAMFI-AMPADU; GEBRESLASIE, 2021), manejo florestal (OETTEL; LAPIN, 2021), restauração florestal (CASIMIRO; SANSEVERO; QUEIROZ, 2019), e muitas outras abordagens. Añino Ramos *et al.* (2021) também sugerem uma metodologia que aplica a cienciometria as pesquisas ecológicas.

No que se trata do conhecimento de espécies florestais, os estudos tendem a ser focados em questões específicas (BEZERRA; PINHEIRO; LUCENA, 2021; MUSARA; ALADEJANA, 2021; WARRIER; PRIYA; KALAISELVI, 2021), mas principalmente comerciais, no intuito de desenvolver determinada aplicação de uma espécie. Estudos que indicam a situação atual do conhecimento de uma espécie florestal, inclusive sobre informações que auxiliam na conservação da espécie, como o de Pérez-Suárez *et al.* (2021), são escassos. Esse tipo de revisão é importante para destacar lacunas na literatura acadêmica e sugerir estudos que as preencham.

2.4 Fontes de material genético

Quando o objetivo da obtenção de indivíduos arbóreos é a restauração florestal, a fonte de material genético mais comum são as sementes, oriundas de populações naturais ou restauradas (THOMAS *et al.*, 2014; SUJII *et al.*, 2017). Se a coleta de material é recorrente em uma mesma matriz ou em matrizes muito próximas, as sementes podem se tornar resultado de autofecundações ou de cruzamento entre indivíduos aparentados, a depender do sistema de reprodução da espécie (ALLARD, 1971; RATNAM *et al.*, 2014). Se estes forem aparentados, devido à dispersão de sementes próximas as árvores-matriz, a endogamia na população pode aumentar, proveniente de acasalamentos consanguíneos (COLES; FOWLER, 1976).

A distribuição espacial pode influenciar na variabilidade genética de forma que indivíduos próximos tendem a ser genotipicamente mais semelhantes do que indivíduos mais distantes (VAKKARI *et al.*, 2020). Mesmo com essa tendência, é necessário averiguar a influência da distribuição espacial pois, por exemplo, Borges *et al.* (2018), em relação à distribuição espacial de indivíduos do gênero *Anacardium*, observaram que havia mais diferenças genéticas individuais do que entre procedências, localizadas em 25

áreas nos municípios de Ilha Grande e Parnaíba – PI, conseguindo assim aumentar o conhecimento e facilitar as pesquisas de melhoramento sobre o gênero.

As simulações sugerem que ao menos 10 % da população total deve ser amostrada para garantir estimativas confiáveis de riqueza alélica e de coeficiente de endogamia (COSTA; CORNELEO; STEFENON, 2015). Atkinson *et al.* (2021), elaboraram um conjunto de 15 indicadores que possibilitam uma avaliação robusta dos sistemas nacionais de sementes florestais para restauração, afim de auxiliar na indicação de fontes adequadas de material genético. Dessa forma, surge a necessidade da busca por locais potenciais de coleta de material genético, que estejam em regiões com condições edafoclimáticas semelhantes, para que exista a adaptação natural das progênies.

Considerando as alterações climáticas na manutenção da diversidade genética dessas fontes, a coleta em locais que já estão afetados pelas mudanças climáticas pode servir de uma fonte adequada de sementes para implementação em locais que estão no limite da tolerância da espécie, mas ainda não estão em seu extremo (THOMAS *et al.*, 2014). Ademais, outra questão indispensável quando se trata desse tipo de coleta, é a interação genótipo – ambiente, e como se dá o comportamento genotípico das origens desse material (SGRÒ; LOWE; HOFFMANN, 2011), já que genótipos bem adaptados a ambientes climaticamente afetados, asseguram o desenvolvimento dos mesmos em locais com condições ambientais parecidas.

2.5 Divergência genética genotípica a partir de caracteres fenotípicos

As análises em sementes e frutos precisam ser feitas para determinar quais características fenotípicas representam, de fato, um maior controle genético do material, e quais explicam as convergências genéticas que possam surgir (MADRERA *et al.*, 2020). Os trabalhos de Peng *et al.* (2020), com *Punica granatum* L., e Hssaini *et al.* (2020), com *Ficus carica* L., demonstram claramente a importância desse tipo de estudo, e como as informações genéticas podem influenciar propriedades importantes das espécies, como sabor do fruto, produção de sementes por fruto, velocidade de germinação, entre outras.

A análise da diversidade genética da população, e a avaliação da qualidade fisiológica das sementes de diferentes árvores em populações naturais, são relevantes para selecionar matrizes e áreas para sementes que atendam aos requisitos de qualidade exigidos pelos programas de conservação (CORREIA *et al.*, 2019).

As análises multivariadas são aplicadas para selecionar indivíduos avaliando a divergência entre caracteres de espécies vegetais (MENDES *et al.*, 2019). Métodos de agrupamento, baseados em medidas de dissimilaridade, podem identificar grupos divergentes (SAHA; DAS, 2017).

A avaliação dos dados presentes na caracterização de frutos e sementes indicará se há uma superioridade genotípica nas matrizes selecionadas, e se estão aptas para servirem como fontes de material genético. Além disso, por meio dos dados obtidos, a seleção de genótipos superiores que possuam atributos propícios à aplicação desejada é necessária para que o estabelecimento e sobrevivência das plantas no local de implantação seja garantido (ELLIOTT *et al.*, 2006).

2.6 Genética na restauração florestal

É fundamental a geração e a divulgação de informações de espécies florestais nativas com relação à características genéticas das populações da espécie e fontes de sementes adequadas (ATKINSON *et al.*, 2021). A utilização de espécies nativas em projetos de restauração florestal sempre é uma prioridade, pois se busca introduzir plantas que sejam adaptadas às condições bióticas e abióticas do local, e que exerçam uma função ecológica mais natural na biodiversidade nativa (STYLIANOU *et al.*, 2020).

O sucesso na concretização desses projetos deve levar em consideração a quantidade de variação genética, para que os ecossistemas sejam resilientes e funcionais, e que não haja problemas em decorrência da homogeneização das populações (THOMPSON *et al.*, 2010). Quando não há variabilidade genética suficiente e a situação é crítica, ameaçando determinada população com depressão por endogamia, atitudes como melhor conectividade por meio da restauração de habitat ou troca genética precisam ser tomadas (YOUSEFZADEH *et al.*, 2021).

Porém, um dos grandes gargalos para o incentivo na produção de mudas dessas espécies é a falta de informação, tanto a respeito da reprodução e propagação, quanto das fontes de coleta de materiais reprodutivos/propagativos que possuam um nível de heterogeneidade genética adequado (THOMAS *et al.*, 2014). Ainda, a maioria dos viveiros produtores de mudas nativas, que são importantes fontes de material pra restauração, não consideram nem possuem conhecimento técnico sobre divergência genética do material de reprodução, tampouco constroem uma estratégia de manejo para seleção de matrizes (NUNES, 2021).

Para evitar os problemas que a falta de variabilidade genética pode acarretar nos projetos de restauração florestal, é necessária uma estratégia que vise determinar o tamanho efetivo da população (RESENDE, 2002), ou seja, o quanto o número real de indivíduos de uma população a representa geneticamente. Essa estratégia visa assegurar baixas taxas de endogamia e garantir a perpetuação de alelos raros que auxiliem na adaptação da população (GUIMARÃES *et al.*, 2019; SØNSTEBØ *et al.*, 2018).

Novas ferramentas já vêm sendo desenvolvidas para subsidiar o desenvolvimento genético nos projetos de restauração florestal, como Nunes (2021), desenvolvedor do *software* ConservaGen, que auxilia na tomada de decisões em projetos de conservação de germoplasma na genética de populações.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Publisher, 1971.

ANDEREGG, W. R. L.; TRUGMAN, A.; BADGLEY, G.; ANDERSON, C. M.; BARTUSKA, A.; CIAIS, P.; CULLENWARD, D.; FIELD, C. B.; FREEMAN, J.; GOETZ, S. J.; HICKE, J. A.; HUNTZINGER, D.; JACKSON, R. B.; NICKERSON, J.; PACALA, S.; RANDERSON, J. T. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. **Science**, v. 368, n. 6497, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aaz7005>

AÑINO RAMOS, Y. J.; MONGE NÁJERA, J.; MURILLO-GONZÁLEZ, D.; MICHÁN-AGUIRRE, L. Cómo aplicar la cienciométrica a la investigación ecológica. **Ecosistemas**, v. 30, n. 2, p. 2256–2256, 2021. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2256>

ARAÚJO, H. C. de L.; MARTINS, F. S.; CORTESE, T. T. P.; LOCOSSELLI, G. M. Artificial intelligence in urban forestry—A systematic review. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 66, p. 127410, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127410>

ATKINSON, R. J.; THOMAS, E.; ROSCIOLI, F.; CORNELIUS, J. P.; ZAMORA-CRISTALES, R.; CHUAIRE, M. F.; ALCÁZAR, C.; MESÉN, F.; LOPEZ, H.; IPINZA, R.; DONOSO, P. J.; GALLO, L.; NIETO, V.; UGARTE, J.; SÁENZ-ROMERO, C.; FREMOUT, T.; JALONEN, R.; GAISBERGER, H.; VINCETI, B.; VALETTE, M.; BOSSHARD, E.; EKUÉ, M.; GUERRA, G. W.; KETTLE, C. Seeding Resilient Restoration: An Indicator System for the Analysis of Tree Seed Systems. **Diversity**, v. 13, n. 8, p. 367, 2021. <https://doi.org/10.3390/d13080367>

AZEVEDO, T.; ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; OLIVEIRA, M. G. **Relatório anual do desmatamento no Brasil**. 2021.

BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, n. 4, p. 365–377, 2012. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>

- BEZERRA, J. J. L.; PINHEIRO, A. A. V.; LUCENA, R. B. Phytochemistry and poisoning in ruminants by *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae): A systematic review. **Toxicon**, v. 201, p. 46–53, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.08.008>
- BORGES, A. N. C.; LOPES, A. C. A.; BRITTO, F. B.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C. Genetic diversity in a cajú (*Anacardium* spp.) germplasm bank as determined by ISSR markers. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 4, p. GMR18212, 2018. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr18212>
- BORGES, C. E.; DOS SANTOS, J. C. B.; EVARISTO, A. B.; DA CUNHA, T. G.; VON DOS SANTOS VELOSO, R.; BARROSO, G. M.; SOUZA, P. G. C.; DA SILVA, R. S. Distribution and future projection of potential cultivation areas for *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) worldwide: the emerging energy culture of the tropics. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 146, n. 3, p. 1069–1078, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03788-6>
- BRANCALION, P. H. S.; HOLL, K. D. Guidance for successful tree planting initiatives. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 12, p. 2349–2361, 2020. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13725>
- BRAUCH, J. E.; ZAPATA-PORRAS, S. P.; BUCHWEITZ, M.; ASCHOFF, J. K.; CARLE, R. Jagua blue derived from *Genipa americana* L. fruit: A natural alternative to commonly used blue food colorants? **Food Research International**, v. 89, p. 391–398, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.029>
- CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de identificação de espécies-chave para a restauração florestal na região de Alto Teles Pires, Mato Grosso**. São Paulo, 2015.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1. ed. Brasília: Colombo: Embrapa Florestas, 2003.
- CASIMIRO, M. S.; SANSEVERO, J. B. B.; QUEIROZ, J. M. What can ants tell us about ecological restoration? A global meta-analysis. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 593–598, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.03.018>
- CHAZDON, R.; BRANCALION, P. Restoring forests as a means to many ends. **Science**, v. 364, n. 6448, p. 24–25, 2019. <https://doi.org/10.1126/science.aax9539>
- COLES, J. F.; FOWLER, D. P. Inbreeding in Neighboring Trees in Two White Spruce Populations. **Silvae Genetica**, v. 25, n. 1, p. 29–34, 1976.
- CORLETT, R. T. Plant diversity in a changing world: Status, trends, and conservation needs. **Plant Diversity**, v. 38, n. 1, p. 10–16, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2016.01.001>
- CORREA, M. N. Chromosomal studies of species of Rubiaceae (A. L. de Jussieu) from the Brazilian cerrado. **Caryologia**, v. 57, n. 3, p. 250–258, 2004. <https://doi.org/10.1080/00087114.2004.10589400>
- CORREIA, L. A. da S.; FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. dos S.; FERRARI, C. dos S.; PACHECO, M. V. Morphometric descriptors and physiological seed quality for selecting *Aspidosperma pyrifolium* Mart. matrix trees. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 751–759, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n319rc>
- COSTA, L. S.; CORNELEO, N. S.; STEFENON, V. M. Conservation of Forest Biodiversity: how sample size affects the estimation of genetic parameters. **Anais da**

- Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 1095–1100, 2015. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140064>
- DONADIO, L. C.; MORO, F. V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas Brasileiras**. São Paulo: Funep, 2004.
- ELLEGREN, H.; GALTIER, N. Determinants of genetic diversity. *Nature reviews. Genetics*, v. 17, n. 7, p. 422–433, 2016. <https://doi.org/10.1038/nrg.2016.58>
- ELLIOTT, S.; BLAKESLEY, D.; MAXWELL, J. F.; DOUST, S.; SUWANNARATANA, S. **How to plant a forest: the principles and practice of restoring tropical forests**. 2006.
- FAO; UNEP. **The State of the World's Forests 2020**The State of the World's Forests 2020. Roma: FAO and UNEP, 2020.
- FIREBANKS-QUEVEDO, D.; PLANAS, J.; BUCKINGHAM, K.; TAYLOR, C.; SILVA, D.; NAYDENOVA, G.; ZAMORA-CRISTALES, R. Using machine learning to identify incentives in forestry policy: Towards a new paradigm in policy analysis. **Forest Policy and Economics**, v. 134, p. 102624, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102624>
- FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F. A.; BICUDO, C. E. M.; CANHOS, D. A. L.; CARVALHO, A. A.; COELHO, M. A. N.; COSTA, A. F.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M. G.; LEITMAN, P. M.; LOHMANN, L. G.; LUGHADHA, E. N.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L. P.; SOUZA, S.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J. R.; SYLVESTRE, L. S.; WALTER, B. M.; ZAPPI, D. C. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **BioScience**, v. 62, n. 1, p. 39–45, 2012. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.8>
- FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M. S.; SANTANA, C. A. A.; PEREIRA JUNIOR, E. R.; SOUZA, L. de C. M.; TOLEDO, R. A. B.; GARÇÃO, B. R. Tree composition of urban public squares located in the Atlantic Forest of Brazil: A systematic review. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 48, p. 126555, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126555>
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório anual 2020**. 2020.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: Período 2018-2019**. São Paulo, 2020.
- GALÁN-ACEDO, C.; SPAAN, D.; BICCA-MARQUES, J. C.; DE AZEVEDO, R. B.; VILLALOBOS, F.; ROSETE-VERGÉS, F. Regional deforestation drives the impact of forest cover and matrix quality on primate species richness. **Biological Conservation**, v. 263, p. 109338, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109338>
- GOMES, M. **Flora do Brasil - Genipa americana L.** 2020.
- GOMES, V. H. F.; VIEIRA, I. C. G.; SALOMÃO, R. P.; TER STEEGE, H. Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 7, p. 547–553, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>
- GUERRA, M. O uso do Giemsa na citogenética vegetal: comparação entre a coloração simples e o bandeamento. **Ciência e Cultura**, v. 35, n. 190-193, 1983.

GUIMARÃES, R. A.; MIRANDA, K. M. C.; MOTA, E. E. S.; CHAVES, L. J.; TELLES, M. P. D. C.; SOARES, T. N. Assessing genetic diversity and population structure in a *Dipteryx alata* germplasm collection utilizing microsatellite markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 329–336, 2019. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n3a45>

GYAMFI-AMPADU, E.; GEBRESLASIE, M. Two Decades Progress on the Application of Remote Sensing for Monitoring Tropical and Sub-Tropical Natural Forests: A Review. **Forests**, 2021, v. 12, n. 6, p. 739, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12060739>

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850–853, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

HARTMANN, H.; MOURA, C. F.; ANDEREGG, W. R. L.; RUEHR, N. K.; SALMON, Y.; ALLEN, C. D.; ARNDT, S. K.; BRESHEARS, D. D.; DAVI, H.; GALBRAITH, D.; RUTHROF, K. X.; WUNDER, J.; ADAMS, H. D.; BLOEMEN, J.; CAILLERET, M.; COBB, R.; GESSLER, A.; GRAMS, T. E. E.; JANSEN, S.; KAUTZ, M.; LLORET, F.; O'BRIEN, M. Research frontiers for improving our understanding of drought-induced tree and forest mortality. **New Phytologist**, v. 218, n. 1, p. 15–28, 2018. <https://doi.org/10.1111/nph.15048>

HOLL, K. D.; BRANCALION, P. H. S. Tree planting is not a simple solution. **Science**, v. 368, n. 6491, p. 580–581, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba8232>

HOLT, R. D. The microevolutionary consequences of climate change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 5, n. 9, p. 311–315, 1990. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(90\)90088-U](https://doi.org/10.1016/0169-5347(90)90088-U)

HSSAINI, L.; HANINE, H.; RAZOUK, R.; ENNAHLI, S.; MEKAOUI, A.; GUIRROU, I.; CHARAFI, J. Diversity Screening of Fig (*Ficus carica* L.) Germplasm through Integration of Morpho-agronomic and Biochemical Traits. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 4, p. 939–958, 2020. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1700871>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES - Amazônia: Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2021.

KIEHN, M. **Karyologische Untersuchungen und DNA-Messungen an Rubiaceae und ihre Bedeutung für die Systematik dieser Familie**. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Universität Wien. 1986.

KUMAR, B.; SMITA, K.; CUMBAL, L.; CAMACHO, J.; HERNÁNDEZ-GALLEGOS, E.; DE GUADALUPE CHÁVEZ-LÓPEZ, M.; GRIJALVA, M.; ANDRADE, K. One pot phytosynthesis of gold nanoparticles using *Genipa americana* fruit extract and its biological applications. **Materials Science and Engineering C**, v. 62, p. 725–731, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2016.02.029>

LEÃO, T. C. C.; REINHARDT, J. R.; NIC LUGHADHA, E.; REICH, P. B. Projected impacts of climate and land use changes on the habitat of Atlantic Forest plants in Brazil. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 10, p. 2016–2028, 2021. <https://doi.org/10.1111/geb.13365>

- LOPES, I. S.; FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; ALENCAR, A. L. Dinâmica da regeneração natural no sub-bosque de *Pinus caribaea* Morelet. Var. *caribaea* na reserva biológica de Saltinho, Tamandaré - PE. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 1, p. 95–107, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509821094>
- MADEIRA, J. C.; SILVA, G. V. L.; BATISTA, J. J.; SARAIVA, G. D.; SANTOS, G. R. C.; ASSREUY, A. M. S.; MOURÃO, P. A. S.; PEREIRA, M. G. An arabinogalactan-glycoconjugate from *Genipa americana* leaves present anticoagulant, antiplatelet and antithrombotic effects. **Carbohydrate Polymers**, v. 202, p. 554–562, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.003>
- MADRERA, R. R.; NEGRILLO, A. C.; VALLES, B. S.; FERNÁNDEZ, J. J. F. Characterization of extractable phenolic profile of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) in a Spanish diversity panel. **Food Research International**, v. 138, n. Part A, p. 109713, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109713>
- MAPBIOMAS BRASIL. **Pastagens brasileiras ocupam área equivalente a todo o estado do Amazonas**. 2021.
- MENDES, G. G. C.; GUSMÃO, M. T. A.; MARTINS, T. G. V.; ROSADO, R. D. S.; SOBRINHO, R. S. A.; NUNES, A. C. P.; RIBEIRO, W. S.; ZANUNCIO, J. C. Genetic divergence of native palms of *Oenocarpus distichus* considering biometric fruit variables. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41507-4>
- MORI, E. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FREITAS, N. P. **Sementes florestais: Guia para germinação de 100 espécies nativas**. 1. ed. São Paulo - SP: Instituto Refloresta, 2012.
- MORITZ, C.; AGUDO, R. The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline? **Science**, v. 341, n. 6145, p. 504–508, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1237190>
- MUSARA, C.; ALADEJANA, E. B. Botanical characteristics, biological, chemical and medicinal properties of *Rhus natalensis* Bernh. Ex. krauss (Anacardiaceae). **Medicinal Plants**, v. 13, n. 2, p. 245–250, 2021. <https://doi.org/10.5958/0975-6892.2021.00027.7>
- NÁTHIA-NEVES, G.; SANTANA, Á. L.; VIGANÓ, J.; MARTÍNEZ, J.; MEIRELES, M. A. A. Ultrasound-Assisted Extraction of Semi-Defatted Unripe Genipap (*Genipa americana* L.): Selective Conditions for the Recovery of Natural Colorants. **Processes**, v. 9, n. 8, p. 1435, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9081435>
- NERI-NUMA, I. A.; PESSÔA, M. G.; ARRUDA, H. S.; PEREIRA, G. A.; PAULINO, B. N.; ANGOLINI, C. F. F.; RUIZ, A. L. T. G.; PASTORE, G. M. Genipap (*Genipa americana* L.) fruit extract as a source of antioxidant and antiproliferative iridoids. **Food Research International**, v. 134, p. 109252, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109252>
- NETO, O. C.; AGUIAR, A. V.; TWYFORD, A. D.; NEAVES, L. E.; TOBY PENNINGTON, R.; LOPES, A. V. Genetic and Ecological Outcomes of *Inga vera* Subsp. *affinis* (Leguminosae) Tree Plantations in a Fragmented Tropical Landscape. **PLOS ONE**, v. 9, n. 6, p. e99903, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099903>
- NUNES, A. C. P. ConservaGen software: A useful tool for genetic conservation of germplasm. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. 4, p. 38992144, 2021. <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n4s53>

- OETTEL, J.; LAPIN, K. Linking forest management and biodiversity indicators to strengthen sustainable forest management in Europe. **Ecological Indicators**, v. 122, p. 107275, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107275>
- PENG, Y.; WANG, G.; CAO, F.; FU, F. F. Collection and evaluation of thirty-seven pomegranate germplasm resources. **Applied Biological Chemistry**, v. 63, n. 1, p. 15, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00497-y>
- PEREVOCHTCHIKOVA, M.; DE LA MORA-DE LA MORA, G.; HERNÁNDEZ FLORES, J. Á.; MARÍN, W.; LANGLE FLORES, A.; RAMOS BUENO, A.; ROJO NEGRETE, I. A. Systematic review of integrated studies on functional and thematic ecosystem services in Latin America, 1992–2017. **Ecosystem Services**, v. 36, p. 100900, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100900>
- PÉREZ-SUÁREZ, M.; RAMÍREZ-ALBORES, J. E.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J.; ALFARO-RAMÍREZ, F. U. A review of the knowledge of Hartweg's Pine (*Pinus hartwegii* Lindl.): current situation and the need for improved future projections. **Trees**, p. 1–13, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02221-9>
- PIMM, S. L.; JENKINS, C. N.; ABELL, R.; BROOKS, T. M.; GITTLEMAN, J. L.; JOPPA, L. N.; RAVEN, P. H.; ROBERTS, C. M.; SEXTON, J. O. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. **Science**, v. 344, n. 6187, 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1246752>
- RATNAM, W.; RAJORA, O. P.; FINKELDEY, R.; ARAVANOPOULOS, F.; BOUVET, J. M.; VAILLANCOURT, R. E.; KANASHIRO, M.; FADY, B.; TOMITA, M.; VINSON, C. Genetic effects of forest management practices: Global synthesis and perspectives. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 52–65, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.008>
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Florestas, Colombo, PR, p. 975, 2002.
- SAHA, A.; DAS, S. Feature-weighted clustering with inner product induced norm based dissimilarity measures: an optimization perspective. **Machine Learning**, v. 106, n. 7, p. 951–992, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10994-016-5623-3>
- SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>
- SANTANA, K. B.; ALMEIDA, A. A. F.; SOUZA, V. L.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C.; GOMES, F. P.; DUTRUCH, L.; LOGUERCIO, L. L. Physiological analyses of *Genipa americana* L. reveals a tree with ability as phytostabilizer and rhizofilterer of chromium ions for phytoremediation of polluted watersheds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 80, p. 35–42, 2012.
- SCHWEIZER, D.; MACHADO, R.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Phylogenetic patterns of Atlantic forest restoration communities are mainly driven by stochastic, dispersal related factors. **Forest Ecology and Management**, v. 354, p. 300–308, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.02.004>
- SEIDL, R.; THOM, D.; KAUTZ, M.; MARTIN-BENITO, D.; PELTONIEMI, M.; VACCHIANO, G.; WILD, J.; ASCOLI, D.; PETR, M.; HONKANIEMI, J.; LEXER, M. J.; TROTSIUK, V.; MAIROTA, P.; SVOBODA, M.; FABRIKA, M.; NAGEL, T. A.;

- REYER, C. P. O. Forest disturbances under climate change. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 6, p. 395–402, 2017. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- SGRÒ, C. M.; LOWE, A. J.; HOFFMANN, A. A. Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. **Evolutionary Applications**, v. 4, n. 2, p. 326–337, 2011. <https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1752-4571.2010.00157.x>
- SHELDON, K. S. Climate Change in the Tropics: Ecological and Evolutionary Responses at Low Latitudes. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 50, p. 303–333, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-025005>
- SHELDON, K. S.; HUEY, R. B.; KASPARI, M.; SANDERS, N. J. Fifty Years of Mountain Passes: A Perspective on Dan Janzen’s Classic Article. **The American Naturalist**, v. 191, n. 5, p. 553–565, 2018. <https://doi.org/10.1086/697046>
- SILVA, J. M. C.; RAPINI, A.; BARBOSA, L. C. F.; TORRES, R. R. Extinction risk of narrowly distributed species of seed plants in Brazil due to habitat loss and climate change. **PeerJ**, v. 2019, n. 7, p. e7333, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7333>
- SIQUEIRA, M. V. B. M. et al. Genetic diversity of reintroduced tree populations of *Casearia sylvestris* in Atlantic forest restoration sites. **Forest Ecology and Management**, v. 502, p. 119703, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119703>
- SLATYER, R. A.; HIRST, M.; SEXTON, J. P. Niche breadth predicts geographical range size: A general ecological pattern. **Ecology Letters**, v. 16, n. 8, p. 1104–1114, 2013. <https://doi.org/10.1111/ele.12140>
- SØNSTEBØ, J. H.; TOLLEFSRUD, M. M.; MYKING, T.; STEFFENREM, A.; NILSEN, A. E.; EDVARDBSEN, M.; JOHNSKÅS, O. R.; EL-KASSABY, Y. A. Genetic diversity of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seed orchard crops: Effects of number of parents, seed year, and pollen contamination. **Forest Ecology and Management**, v. 411, p. 132–141, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.009>
- STYLIANOU, M.; GAVRIEL, I.; VOGIATZAKIS, I. N.; ZORPAS, A.; AGAPIOU, A. Native plants for the remediation of abandoned sulphide mines in Cyprus: A preliminary assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 274, p. 110531, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110531>
- SUJII, P. S.; SCHWARCZ, K. D.; GRANDO, C.; DE AGUIAR SILVESTRE, E.; MORI, G. M.; BRANCALION, P. H. S.; ZUCCHI, M. I. Recovery of genetic diversity levels of a Neotropical tree in Atlantic Forest restoration plantations. **Biological Conservation**, v. 211, p. 110–116, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.05.006>
- TAYLORSON, R. B.; HENDRICKS, S. B. Dormancy in Seeds. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 28, n. 1, p. 331–354, 1977. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.28.060177.001555>
- TEIXEIRA, L. de J. **Fitossociologia e florística do componente arbóreo em topossequiência na reserva biológica de Saltinho, Pernambuco**. 2009. - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- TEMPERLI, C.; BUGMANN, H.; ELKIN, C. Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. **Ecological Monographs**, v. 83, n. 3, p. 383–402, 2013. <https://doi.org/10.1890/12-1503.1>
- THOMAS, E.; JALONEN, R.; LOO, J.; BOSHIER, D.; GALLO, L.; CAVERS, S.; BORDÁCS, S.; SMITH, P.; BOZZANO, M. Genetic considerations in ecosystem

- restoration using native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 333, n. 2014, p. 66–75, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- THOMPSON, I.; MACKEY, B.; MCNULTY, S.; MOSSELER, A. A synthesis on the biodiversity-resilience relationships in forest ecosystems. In: KOIZUMI, T.; OKABE, K.; THOMPSON, I.; SUGIMURA, K.; TOMA, T.; FUJITA, K. (org.). **The Role of Forest Biodiversity in the Sustainable Use of Ecosystem Goods and Services in AgroForestry, Fisheries, and Forestry**. Ibaraki: Forestry and Forest Products Research Institute, 2010. p. 9–19.
- THURMAN, T. J.; BARRETT, R. D. H. The genetic consequences of selection in natural populations. **Molecular Ecology**, v. 25, n. 7, p. 1429–1448, 2016. <https://doi.org/10.1111/mec.13559>
- VAKKARI, P.; RUSANEN, M.; HEIKKINEN, J.; HUOTARI, T.; KÄRKKÄINEN, K. Patterns of genetic variation in leading-edge populations of *Quercus robur*: genetic patchiness due to family clusters. **Tree Genetics and Genomes**, v. 16, n. 5, p. 1–12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11295-020-01465-9>
- VASCONCELOS, A. L.; SANTOS, A. V.; PADILHA, R. J. R.; ALVES, L. C.; RANDAU, K. P. Anatomical characterization of ultra-structures, biominerals and histolocalization of metabolites in leaves of *Genipa americana*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 27, n. 5, p. 541–548, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.bjph.2017.05.002>
- VELAZCO, S. J. E.; VILLALOBOS, F.; GALVÃO, F.; DE MARCO JÚNIOR, P. A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 4, p. 660–673, 2019. <https://doi.org/10.1111/ddi.12886>
- VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste**. Brasília, 2018.
- WARRIER, R. R.; PRIYA, S. M.; KALAISELVI, R. Gmelina arborea– an indigenous timber species of India with high medicinal value: A review on its pharmacology, pharmacognosy and phytochemistry. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 267, p. 113593, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113593>
- WEISS, G.; LUDVIG, A.; ŽIVOJINOVIĆ, I. Four decades of innovation research in forestry and the forest-based industries – A systematic literature review. **Forest Policy and Economics**, v. 120, p. 102288, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102288>
- WIENS, J. J. Climate-Related Local Extinctions Are Already Widespread among Plant and Animal Species. **PLOS Biology**, v. 14, n. 12, p. e2001104, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2001104>
- WWF BRASIL. **Dia do Cerrado: Desmatamento acumulado em 2021 aumentou 25% em relação a 2020**. 2021.
- YOUSEFZADEH, H.; RAEISI, S.; ESMAILZADEH, O.; JALALI, G.; NASIRI, M.; WALAS, Ł.; KOZŁOWSKI, G. Genetic Diversity and Structure of Rear Edge Populations of *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) in the Hyrcanian Forest. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1471, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10071471>

CAPÍTULO I

***Genipa americana* L.: CIENCIOMETRIA E OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA**

COLA, RAQUEL ELVIRA. *Genipa americana* L.: CIENCIOMETRIA E OCORRÊNCIA GEOGRÁFICA. 2022. Orientador: Ricardo Gallo. Coorientadora: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

RESUMO

Não há estudos de revisão sistemática, tampouco de distribuição e ocorrência geográfica, sobre a espécie *Genipa americana* L. Por ser uma espécie arbórea recomendada para restauração de áreas degradadas, é necessário entender em quais ambientes ela se tornaria mais adaptada, e obter um panorama com suas informações ecofisiológicas. O objetivo deste capítulo foi realizar uma revisão sistemática sobre o estado de desenvolvimento científico ecofisiológico e genético a respeito da espécie entre 2010 e 2021, bem como um levantamento da ocorrência de *Genipa americana* no Brasil e da influência de variáveis edafoclimáticas e de vegetação sobre sua distribuição. Para isso, realizou-se uma busca de trabalhos acessando as bases de dados Scopus e Web of Science, em publicações de 2010 a 2021. Já para a distribuição da ocorrência da *G. americana* no Brasil, o levantamento foi por meio da base de dados NeoTropTree, sendo utilizadas 19 variáveis ambientais para o estudo. Os dados das duas análises foram processados no *software* RStudio. Também foram elaborados mapas com as variáveis ambientais no programa ArcMap 10.5. Na extração dos artigos foram levantados 63 trabalhos de 29 revistas diferentes. Após a filtragem manual, 10 artigos são sobre desenvolvimento genético, e 24 artigos são sobre informações ecofisiológicas acerca da *G. americana*. Já na análise de ocorrência geográfica, do total de 3.916 resultados de sites para o Brasil, a espécie *G. americana* esteve presente em 20,9 % dos sites. O bioma predominante na ocorrência da espécie no país foi a Amazônia, concentrando 38,9 % dos sites. Com relação aos limites ambientais, percebe-se que quanto menor a temperatura, menor a chance de ocorrência. Percebe-se que não há estudos suficientes em relação a caracterização de populações que envolvam testes de variáveis abióticas, afim de determinar possíveis locais de fontes de material genético/reprodutivo, e para quais locais as mesmas seriam adaptadas. Ainda, a espécie está bem adaptada a altas temperaturas, altas taxas de precipitação e baixos relevos.

Palavras-chave: revisão sistemática, distribuição geográfica, jenipapo, parâmetros climáticos.

COLA, RAQUEL ELVIRA. *Genipa americana* L.: SCIENTIOMETRY AND GEOGRAPHIC OCCURRENCE. 2022. Advisor: Ricardo Gallo. Co-advisor: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

ABSTRACT

There are no systematic review studies, nor studies of distribution and geographic occurrence, on the species *Genipa americana* L. As it is a tree species well recommended for restoration of degraded areas, it is necessary to understand in which environments it would become more adapted and obtain an overview with their ecophysiological information. The objective of this chapter was to do a systematic review of the *Genipa americana*'s ecophysiological and genetic scientific development between 2010 and 2021, as well as a *Genipa americana*'s occurrence survey in Brazil and the influence of edaphoclimatic and vegetation variables on its distribution. For this, a search for works was conducted by accessing the Scopus and Web of Science databases in publications from 2010 to 2021. As for the distribution of *G. americana* in Brazil, the survey was carried out through the NeoTropTree database, using 19 environmental variables for the study. Data were processed in software RStudio. The main variables resulting from this analysis were applied in elaborating maps in the program ArcMap 10.5. In extracting the articles, 63 works from 29 different journals were collected. After manual filtering, 10 papers are about genetic development, and 24 papers are about ecophysiological information about genipap. In the analysis of geographic occurrence, of the total of 3,916 results of sites for Brazil, the species *G. americana* was present in 20.9 % of the sites. The predominant biome in the occurrence of the species in the country was the Amazon, concentrating 38.9 % of the sites. Regarding environmental limits, it is clear that the lower the temperature, the lower the chance of occurrence. Furthermore, the species is well adapted to high temperatures, high precipitation rates, and low relief. It is noticed that there are not enough studies about the characterization of populations that involve tests of abiotic variables to determine possible locations of sources of genetic/reproductive material and to which areas they would be adapted.

Keywords: systematic review, geographic distribution, genipap, climatic parameters.

1. INTRODUÇÃO

As revisões de literatura, que compõem a cienciometria e a bibliometria, acerca das características e propriedades das espécies auxiliam na tomada de decisões em seus usos (AÑINO RAMOS *et al.*, 2021). Revisões sistemáticas, ou cienciometria, são consideradas pesquisas quantitativas originais, uma vez que possuem estruturação organizada e reduzem buscas tendenciosas (SCHEIDT *et al.*, 2019; AÑINO RAMOS *et al.*, 2021). Quando as revisões sistemáticas focam em uma determinada espécie arbórea, a maioria trata de usos medicinais e farmacológicos, havendo uma escassez de um aprofundamento literário sobre aspectos ecofisiológicos e genéticos, bem como usos para conservação e restauração de ecossistemas.

Não há estudos de revisão sistemática, tampouco de distribuição e ocorrência geográfica, sobre a espécie *Genipa americana* L. É sabido que é uma espécie amplamente distribuída no Brasil (GOMES, 2020), entretanto, não se conhece o que explica essa dinâmica, sequer quais variáveis edafoclimáticas contribuem para a sua ocorrência. Por ser uma espécie arbórea recomendada para restauração de áreas degradadas (SANTANA *et al.*, 2012), é necessário entender em quais ambientes ela se tornaria mais adaptada e obter um panorama com suas informações ecofisiológicas, que auxiliarão na elaboração de projetos eficazes de restauração florestal com seu uso.

Além de buscar informações ecofisiológicas da espécie alvo, é importante conhecer a sua ocorrência geográfica. Essa análise dependente de atributos bióticos e abióticos, e é fundamental para auxiliar no manejo e na recuperação das mesmas em ambientes naturais (YUAN *et al.*, 2021). Variáveis abióticas, como as que representam o clima e solo, são condicionantes para o desenvolvimento de espécies florestais (FRITZONS *et al.*, 2012; YUAN *et al.*, 2021).

Rehfeldt *et al.* (2015) afirmam, por exemplo, que as variáveis climáticas são mais importantes que variáveis topográficas em um estudo de manejo adaptativo no Colorado, Estados Unidos. Com isso, devido às mudanças climáticas atuais e iminentes, é necessário prever os cenários ambientais futuros, e explicar como as espécies vegetais podem se estabelecer, ou não, nesses cenários (REHFELDT *et al.*, 2015; WALENTOWSKI *et al.*, 2017).

Quando se estuda as mudanças climáticas passadas e futuras, a estrutura genética das espécies em diferentes populações é pouco considerada, assumindo apenas as respostas fisiológicas como indicativo de adaptação à dinâmica dos fatores ambientais, como a taxa de crescimento das árvores (KING *et al.*, 2013; LATUTRIE *et al.*, 2015).

Porém, a diversidade genética tem o potencial de controlar traços adaptativos para que as populações se adequem às pressões ambientais, tornando-se um preditor útil de quais condições as espécies se adaptariam (BERTIN *et al.*, 2020). Assim, sabe-se que as espécies podem migrar para locais recentemente adequados para sua ocorrência, por vezes eliminando fenótipos de baixa dispersão ou má adaptação (PRADO *et al.*, 2021).

Uma das investigações primárias que ajudam a compreender o comportamento de ajuste das espécies vegetais nos diferentes ambientes, é a análise de distribuição geográfica da espécie. Dessa forma, é possível prever quais fenótipos têm potencial de adaptação para determinados locais (BERLIN; JANSSON; HÖGBERG, 2015). Trabalhos como os de Sahragard, Ajarlo e Karami (2021) e Mi *et al.* (2017) utilizam modelos de distribuição de espécies (SDMs) para medir as métricas de paisagem, e determinar a relação da distribuição de ambientes adequados para a ocorrência de espécies vegetais. Apesar desse tipo de estratégia ser limitada, por não tratar de interações bióticas, mudança evolutiva e capacidade de dispersão, já é considerada uma boa ferramenta para os primeiros passos no entendimento do impacto climático na distribuição das espécies (PEARSON; DAWSON, 2003).

São raros os estudos que buscam ampliar o conhecimento de distribuição de espécies vegetais para além da faixa de amostra já existente (MI *et al.*, 2017). Isso se dá devido ao principal gargalo nos estudos de ocorrência de espécies, que são os métodos de coleta de dados que geralmente não são conhecidos, de modo que inclusive a ausência de determinadas espécies não se torna certeza (ELITH *et al.*, 2006).

Nesse sentido, a base de dados NeoTropTree visa deixar clara sua metodologia de construção de dados. Diferente da maioria dos bancos de dados biogeográficos, que oferecem um compilado de registros de ocorrência de espécies georreferenciadas, o NeoTropTree é elaborado por planilhas fitossociológicas (*species checklists*) por local em toda região biogeográfica neotropical, em conjunto com suas variáveis ambientais (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Sendo assim, o objetivo deste capítulo foi realizar uma revisão sistemática do panorama sobre o estado de desenvolvimento científico ecofisiológico e genético a respeito da espécie entre 2010 e 2021, bem como um levantamento da ocorrência de *Genipa americana* no Brasil e da influência de variáveis edafoclimáticas e de vegetação sobre sua distribuição.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento científico acerca da *G. americana*

Para o levantamento do desenvolvimento científico da *G. americana*, foi realizada uma busca de trabalhos acessando as bases de dados Scopus e Web of Science, com a combinação dos termos de busca “*Genipa americana*” presente especificamente em títulos, resumos e palavras-chave em publicações de 2010 a 2021.

Para evitar trabalhos que fogem do foco do estudo, também se excluiu palavras-chave que, por exemplo, caracterizem trabalhos de pigmentos naturais, iridoides, compostos fenólicos, estudos medicinais ou da cultura *in vitro* da espécie, etc. Os artigos presentes nessas extrações foram filtrados manualmente de acordo com o assunto abordado, por meio da leitura do resumo, interessando apenas pesquisas que tratassem de processos fisiológicos e viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética da espécie alvo.

Após essa busca, foi realizada a extração e síntese dos dados com auxílio do *software* RStudio (R CORE TEAM, 2020) e uso do pacote bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

2.2 Ocorrência de *G. americana* no Brasil e influência de variáveis ambientais

O levantamento da ocorrência da espécie no Brasil foi realizado por meio da base de dados NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017), que utiliza listas de verificação de espécies vegetais distribuídas por locais (sites) ao longo da região neotropical. Os sites nessa base de dados são áreas circulares com raio de 5 km, centralizadas nas coordenadas das fontes onde obteve-se as informações sobre o local.

A lista de espécies de cada local é composta por uma junção de listas taxonômicas, e de ocorrência em inventários (planilhas fitossociológicas), bem como informações de herbários. Portanto, a partir dos dados disponíveis, obteve-se uma planilha disponibilizada na base com variáveis ambientais para cada local no país. Como algumas variáveis representavam subgrupos de outra variáveis, foram escolhidas 19 variáveis ambientais para o estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Lista das variáveis ambientais extraídas da base de dados NeoTropTree.

Variável	Sigla
Altitude	ALT
Domínio fitogeográfico	DOM
Ecorregião	ER

Regime climático	RC
Tipo de vegetação	TV
Temperatura média anual (°C)	TAn
Temperatura máxima do mês mais quente (°C)	TMax
Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	TMin
Precipitação anual (mm)	Pan
Precipitação do mês mais úmido (mm)	PMU
Precipitação do mês mais seco (mm)	PMS
Duração do período de déficit hídrico (dias)	DDH
Severidade do período de déficit hídrico (mm)	SDH
Duração do período de excesso hídrico (dias)	DEH
Severidade do período de excesso hídrico (mm)	SEH
Superfície rochosa	SR
Drenagem do solo	DS
Armazenamento de água do solo	AAS
Fertilidade do solo	FS

Os locais selecionados foram, a priori, filtrados na própria base de dados, delimitando apenas aqueles que correspondiam ao território brasileiro. Posteriormente, por meio de consulta na lista de espécies ocorrentes em cada local disponível do Brasil, foram marcados nessa planilha os locais de ocorrência de *G. americana*, com o intuito de reunir informações sobre quais atributos caracterizam a ocorrência dessa espécie em território brasileiro.

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) no RStudio (R CORE TEAM, 2020), com os pacotes factoextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2020) e ggplot2 (WICKHAM, 2016), afim de determinar a contribuição estatística de cada variável para a determinação da ocorrência da espécie em cada local registrado. As variáveis foram filtradas para que se determinasse o mínimo de dimensões possíveis que expliquem, pelo menos, 70 % dos dados obtidos.

As principais variáveis resultantes dessa análise foram aplicadas na elaboração de mapas, combinando com os pontos de ocorrência de *G. americana* no Brasil obtidos por meio das coordenadas geográficas, para melhor visualização da influência desses atributos. A elaboração dos mapas se deu no programa ArcMap 10.5, com os dados ambientais da própria planilha disponibilizada no banco de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desenvolvimento científico acerca da *G. americana*

Na extração dos artigos pelo pacote bibliometrix, foram levantados 63 trabalhos de 29 revistas diferentes, englobando diferentes temas de estudo, sem a realização de

qualquer filtro de seleção. O artigo mais atual inserido nessa revisão é de 2021, e o mais antigo de 2010. A maior produção anual sobre o tema foi em 2018, com mais de nove artigos publicados (Figura 1). A revista mais relevante quando se trata de *G. americana* é a Revista *Árvore*, com um total de quatro trabalhos publicados, índice H de 4 e 19 citações locais (Figura 2). O Brasil é o principal país no que se refere às pesquisas de ecofisiologia e genética de *G. americana*, tanto em produção, com 76 artigos, quanto em citações, com 242 citações (Figura 3).

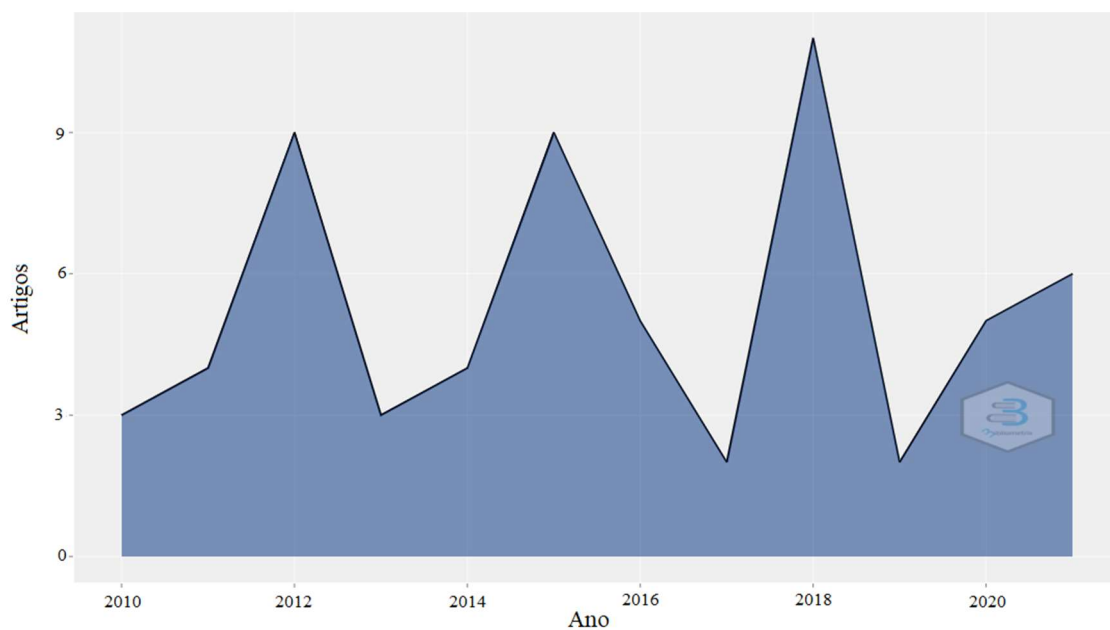


Figura 1. Produção científica anual sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética *Genipa americana* L. das bases de dados Scopus e Web of Science. Fonte: Aria e Cucurullo (2017).

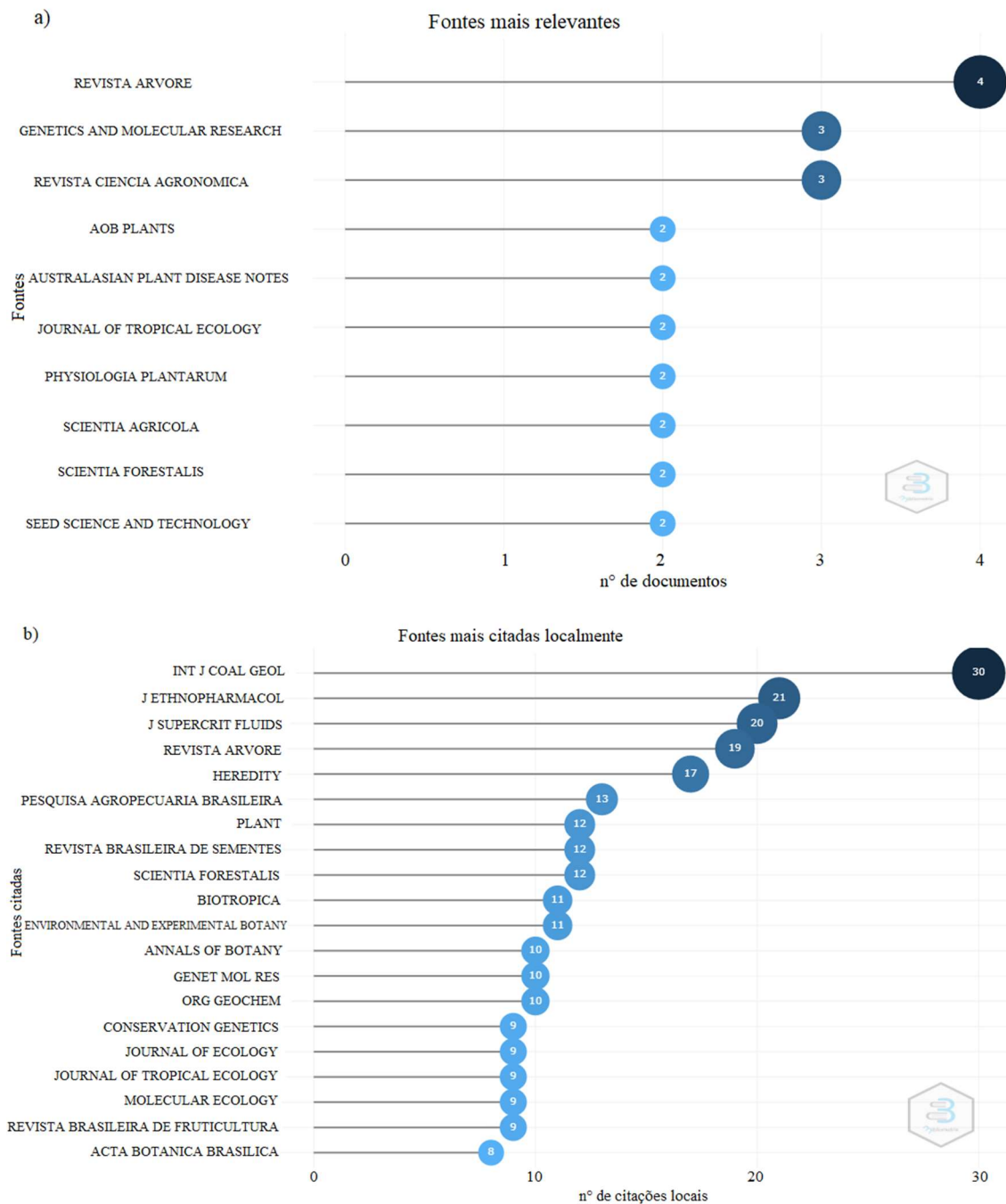


Figura 2. a) Principais revistas; e b) fontes mais citadas localmente sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética *Genipa americana* L. das bases de dados Scopus e Web of Science. Fonte: Aria e Cuccurullo (2017).

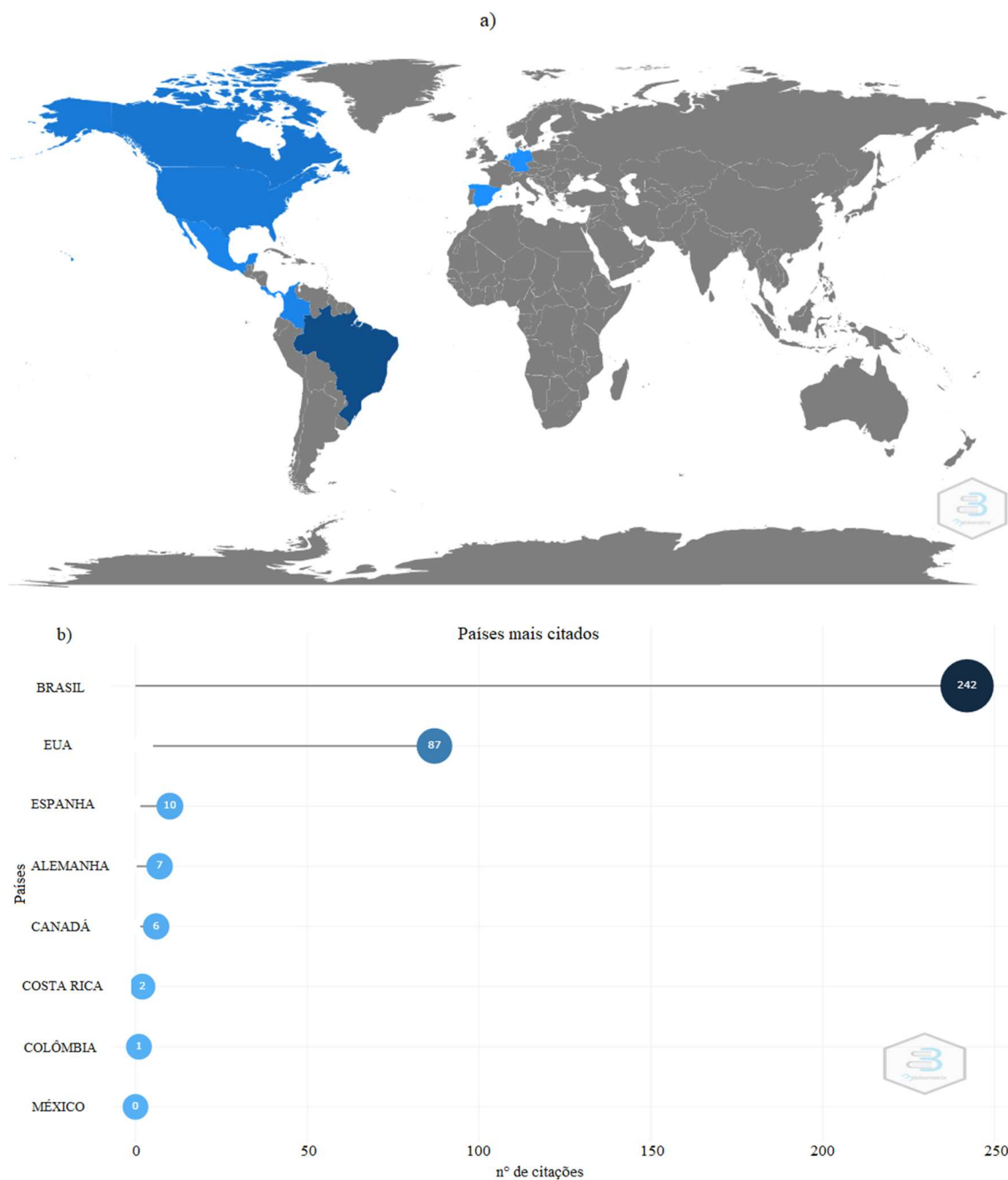


Figura 3. a) Produção científica global; e b) países mais citados sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética *Genipa americana* L. das bases de dados Scopus e Web of Science. Fonte: Aria e Cuccurullo (2017).

O fator de impacto, Cite Scopus Score, e índice H mais elevados encontrados na extração após a filtragem, sendo 8,512, 13 e 102 respectivamente, totalizando 87 citações globais, foram do mesmo artigo, dos autores Wolfe, Sperry e Kursar (2016) (Figura 4).

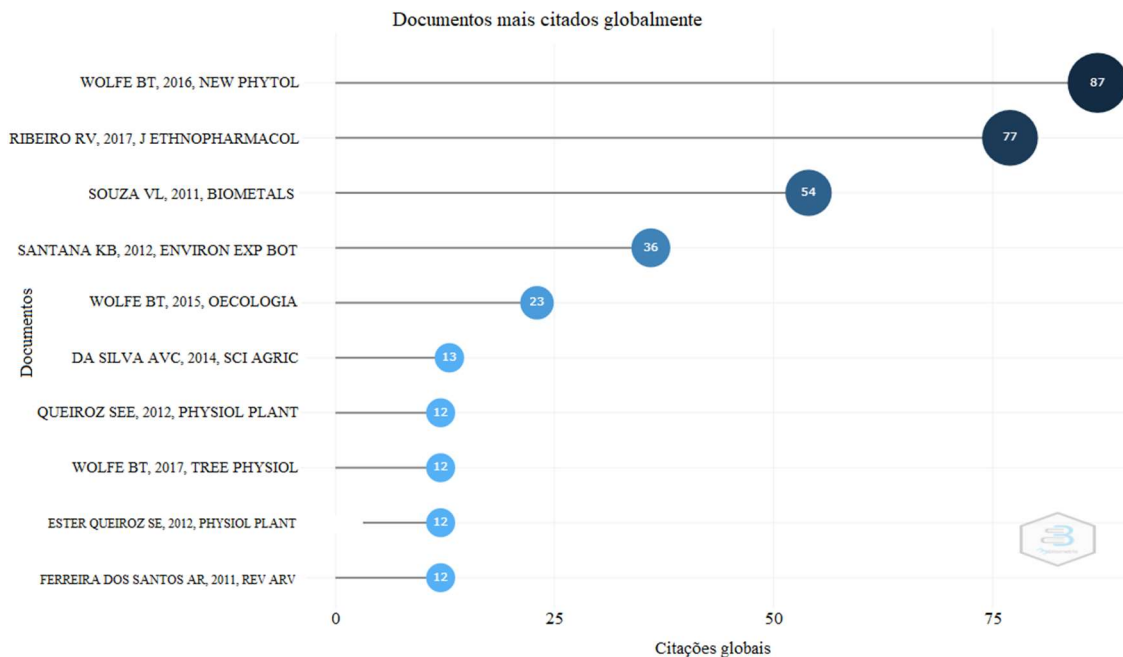


Figura 4. Trabalhos mais citados globalmente sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética *Genipa americana* L. das bases de dados Scopus e Web of Science. Fonte: Aria e Cuccurullo (2017).

As cinco palavras-chaves mais utilizadas por esses trabalhos foram, respectivamente, *Genipa americana* (13 %), *Rubiaceae* (11 %), *nonhuman* (5 %), *Brazil* (4 %) e *female* (4 %) (Figura 5). Ainda é possível observar que os temas mais presentes em estudos sobre *G. americana* são sexualidade das plantas (representada pelas palavras *female* e *male*), germinação, água, folhas e frutos, crescimento, células, biomassa, seca, genética, etc.



Figura 5. Palavras-chave mais mencionadas sobre processos fisiológicos, viabilidade de sementes e mudas, ecologia, comportamento e genética *Genipa americana* L. das bases de dados Scopus e Web of Science. Fonte: Aria e Cuccurullo (2017).

Após a filtragem manual, que consistiu na leitura dos resumos para exposição dos resultados, foram selecionados 34 artigos. Desses artigos, 10 são sobre desenvolvimento genético, e os 24 restantes são sobre informações ecofisiológicas acerca da *G. americana*.

Para recomendar a implantação de uma determinada espécie em projetos de restauração florestal, é necessário ter conhecimento de características de respostas fisiológicas e ecológicas, visto que a adaptação à diferentes ambientes é uma sugestão que facilita a inclusão da espécie em diversos projetos. Ademais, para um maior embasamento e assecuridade dessas recomendações em projetos de restauração, se faz necessário o conhecimento genético e os processos adotados em cada espécie.

Para tal, os principais assuntos abordados na revisão são a respeito de respostas da espécie *G. americana* a múltiplos testes fisiológicos, como sobre tratamento em sementes, mudas e interação de componentes químicos com a planta; estudos sobre sua ecologia, como interações bióticas entre a planta e outros indivíduos; e genética, tratando de variabilidade, diversidade e estrutura genética das populações.

3.1.1 Tratamentos em sementes de *G. americana*

Com relação aos aspectos ecofisiológicos da *G. americana*, Oliveira *et al.* (2011) sugerem que o teor crítico de água nas sementes de *G. americana* é de 10%, onde menos

que isso pode comprometer a emergência das plântulas. Os autores também afirmam que as sementes da espécie podem ser secadas tanto em ambiente telado a 33°C e umidade relativa do ar de 70% por 24 horas, quanto em laboratório a 28°C e umidade relativa do ar de 75% por até 48 horas.

Magistrali *et al.* (2013), demonstraram que a germinação de sementes de *G. americana* não perde a viabilidade quando recém-colhidas e secas em soluções salinas com 30 a 10% de umidade. Entre 10 a 5% de umidade, a viabilidade permanece apenas até 30 dias de armazenamento, depois é reduzida. Além disso, a secagem lenta torna as sementes mais tolerantes à dessecação e armazenamento. Diferindo dos resultados de secagem rápida, que diminuem a viabilidade das sementes quando estão com menos de 20% de água (MAGISTRALI *et al.*, 2015).

Já Santos, Silva-Mann e Ferreira (2011) afirmam que a restrição hídrica afeta negativamente o vigor e germinação de sementes de *G. americana*. Além disso, o trabalho mostra que o tratamento de germinação dessas sementes em polietilenoglicol (PEG 6000) a -0,3 MPa, simulando uma condição de alagamento, permite condicionamento osmótico delas, mas quando o potencial diminui para -0,4 MPa, o vigor é afetado. Isso explica por que as plântulas de *G. americana* têm melhor desempenho no banco de sementes induzido em área de mata ciliar do que em topo de morro, segundo Salla, José e Faria (2016).

Das Virgens, Conceição e Barbosa (2019) montaram um protocolo de teste de tetrazólio para a espécie *G. americana*, afim de avaliar o vigor e viabilidade das sementes. O teste desenvolvido foi adequado para a avaliação desejada, conseguindo classificar as sementes em viável; viável e não-vigorosa; e não viável. Além disso, recomendam a imersão de sementes não embebidas em solução de tetrazólio 0,1 % durante três horas, sendo este o protocolo mais eficiente.

Bezerra *et al.* (2015) observaram o potencial fisiológico em sementes de quatro matrizes de *G. americana* a partir de diferentes métodos de extração de mucilagem, sendo elas: manual com peneira, água corrente e areia; fermentação; centrifugação e H₂SO₄. Os diferentes tratamentos não afetaram a germinação das sementes, porém interferiram na viabilidade, sendo o método manual com peneira, água corrente e areia o melhor.

Com relação ao tipo de embalagens recomendadas para o armazenamento das sementes, Arruda *et al.* (2018) testaram cinco tipos de embalagens em quatro períodos diferentes, além do controle, e recomendam o armazenamento em sacos de papel, a 24°C e 65% de umidade por até 46 dias, mantendo a germinação das sementes em 60%.

Todos os tipos de substratos testados no trabalho de Sassaqui, Terena, e Costa (2013) são indicados para produção de mudas de *G. americana*, sendo eles 1/2 esterco bovino + 1/2 rama de mandioca, 1/2 esterco bovino + 1/2 Vida Verde, 1/2 esterco bovino + 1/2 vermiculita e 1/4 esterco bovino + 1/4 vermiculita + 1/4 rama de mandioca + 1/4 Vida Verde. Os autores ainda afirmam que não é recomendado para essa produção o abrigo com todas as laterais sem fechamentos e cobertura com folhas de buriti.

3.1.2 Comportamento de mudas de *G. americana*

Como a *G. americana* ocorre tanto em ecossistemas úmidos quanto em sazonalmente secos, Pires *et al.* (2018) testaram sementes e mudas da espécie em florestas alagadas na Amazônia Central e em savanas sazonalmente secas no Cerrado, em substratos alagados ou em submersão em água, afim de avaliar a plasticidade fenotípica e tolerância/adaptação ao estresse. Apesar das sementes serem do mesmo tamanho, as provenientes do Cerrado tiveram a porcentagem de germinação mais comprometida quando submersas, em comparação com as amazônicas que tiveram essa característica aumentada. Porém, as duas populações em ambos tratamentos conseguiram reter as folhas. Por isso, mesmo com as interferências apontadas, a tolerância a inundações e alagamentos esteve presente nos indivíduos, podendo-se afirmar que a espécie de uma forma geral possui plasticidade fenotípica flexível a inundações.

Brandani *et al.* (2018) também testaram a viabilidade de sementes de *G. americana* de diferentes populações em tratamentos de inundações, e afirmam que a porcentagem e índice de velocidade de germinação são afetados negativamente quando as sementes são submersas em água, e o tempo médio de germinação aumenta. Mostrando que mesmo com alteração dessas variáveis, a espécie ainda é tolerante à alagamentos.

Ainda sobre inundações, Santos *et al.* (2021) observaram que plantas de *G. americana* com deformação de raiz, quando submetidas a alagamento do solo, possuem menos concentração de P nas folhas, maior concentração de K nas raízes, porém não nas folhas, e a concentração de N nas raízes ou folhas não foi afetada. Portanto, é fundamental evitar erros na repicagem de raízes produzidas em embalagens, uma vez que as concentrações de nutrientes são afetadas em campo quando ocorre a deformação das raízes.

Wolfe, Sperry e Kursar (2016) observaram que, em área de Floresta Semidecídua, as árvores de *G. americana* continuaram diminuindo seu potencial hídrico, mesmo após sua deciduidade total, indicando que a hipótese de proteção hídrica do indivíduo pela

queda de folhas não se aplica à essa espécie. Testando também a condução de mudas dessa espécie em tratamento de seca, Wolfe (2017) não obteve sobrevivência dos indivíduos de *G. americana*, mostrando que são suscetíveis à dessecação. Concluíram então, que a *G. americana* deve possuir outro mecanismo de recuperação de condutividade hídrica, já que nenhum indivíduo do censo morreu.

Lima *et al.* (2010) analisaram a plasticidade fenotípica de mudas de *G. americana* por meio das características de biomassa seca de raízes, caules, folhas e total, bem como área foliar total por planta, com 0%, 25%, 50% e 75% de luminosidade, em luz solar plena e em sombreamento natural. Os autores concluíram que a espécie ocupa os estágios iniciais de sucessão ecológica, e que sua maior plasticidade fenotípica garante vantagem no estabelecimento de mudas em ambientes dinâmicos e alterados.

3.1.3 Interação de componentes químicos com plantas de *G. americana*

Para corroborar com estudos que sugerem o potencial da *G. americana* como fitorremediadora de Cr^{3+} e Cd (MIELKE *et al.*, 2003; BARBOSA *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2011), Santana *et al.* (2012) testaram o comportamento da espécie com dois tratamentos (Cr^{3+} e Cr^{6+}) e observaram que mesmo afetando o desenvolvimento das mudas quando expostas ao cromo, a espécie consegue promover a fitoestabilização de Cr^{6+} e a rizofiltração de Cr^{3+} . Portanto, concluíram que a *G. americana* pode ser aplicado na recomposição de florestas ciliares em bacias hidrográficas poluídas por cromo.

Em um estudo sobre o uso de biossólidos em espécies da Floresta Atlântica brasileira, Silva *et al.* (2020), em 2016, relataram que mudas de *G. americana*, na fertilização mineral, possuiu incremento negativo de altura e área de copa, porém apresentou teor de P e N maiores em relação aos demais tratamentos. Também não reagiram à aplicação do biossólido em relação às variáveis de crescimento, e ainda a concentração de P foliar diminuiu à medida que a dose do biossólido aumentou.

O trabalho de Souza *et al.* (2011) mostra que há mudanças morfofisiológicas e mortes celulares em raízes e folhas de *G. americana* quando estão em contato com cádmio (Cd), composto originado de resíduo industriais. A partir dessa informação, não se recomenda a implantação de mudas de *G. americana* para reflorestar áreas que possuam resquícios de Cd no solo.

3.1.4 Interações ecológicas interespecíficas com plantas de *G. americana*

Soares *et al.* (2012) avaliaram a inoculação de seis fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em mudas de *G. americana* e obtiveram os seguintes resultados: os fungos *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus clarum* e *Glomus etunicatum* promoveram um melhor desenvolvimento das mudas em sua colonização intensa nas raízes; e *G. etunicatum* também promoveu um crescimento significativo de altura, diâmetro do caule, produção de biomassa seca aérea, radicular e foliar, quando comparado às mudas controle. Assim, as mudas de *G. americana* foram beneficiadas quando submetidas à inoculação de FMA.

Santiago *et al.* (2018) observaram que o ácido barbático (BAR), composto presente no líquen *Cladonia salzmannii* Nyl., é capaz de estimular a associação de plantas de *G. americana* com a formação micorrízica arbuscular, promovendo maiores parâmetros de crescimento nas plantas.

Antes *et al.* (2012) testaram a ação do parasitismo de espécies de *Meloidogyne* em plantas nativa da Floresta Atlântica e, com relação à *G. americana*, o nematoide *Meloidogyne incognita* induziu a formação de galhas na mucosa da muda após a inoculação. Os autores sugerem que, em ambientes naturais, essa espécie é capaz de hospedar o parasita, reforçando a necessidade de esterilização do solo nos viveiros antes que as mudas sejam semeadas.

Ragusa-Netto (2015) relatou as flores e frutos de *G. americana* como sendo duas das principais fontes de alimentos para o aracuã-do-pantanal (*Ortalis canicollis* Wagler, 1830) durante a estação de seca severa no pantanal. Cunha, Bernhard e Vogt (2020) também afirmam que a *G. americana* foi a espécie mais importante na dieta de três espécies de tartarugas de água doce no Amazonas (*Podocnemis eritrocephala* Spix, 1824 *P. expansa* Schwigger, 1812; e *P. unifilis* Troschel, 1848). Essa informação para projetos de restauração é imprescindível, uma vez que mostra a *G. americana* como um mantenedor da macrofauna em diferentes fitofisionomias.

Valenta *et al.* (2015) descobriram que a distribuição de árvores adultas de *G. americana* na Costa Rica se assemelha ao padrão de dispersão primária realizado pelo principal dispersor da espécie na região, o macaco-prego (*Cebus capucinus* Linnaeus, 1758). Esse tipo de pesquisa pode ser testado no Brasil para conhecer como os mecanismos de dispersão impactam na distribuição espacial dos indivíduos arbóreos.

3.1.5 Aspectos genéticos da *G. americana*

Por meio de estudo de variabilidade genética com marcadores RAPD, Rabbani, Silva-Mann e Ferreira (2012) indicaram 18 indivíduos de *G. americana* na região do Baixo São Francisco como matrizes fornecedoras de material de reprodução viáveis para serem utilizadas em projetos de restauração florestal.

Com o mesmo tipo de marcadores, Silva *et al.* (2015) também analisaram dez genótipos da espécie selecionados pelo sexo, com o objetivo de encontrar um marcador molecular associado à predição sexual. O estudo não foi capaz de identificar um trecho molecular específico para o sexo com os *primers* testados, mas afirmam que ainda assim serve de contribuição para caracterização dos genótipos nativos.

Os marcadores SSR foram utilizados por Ruzza *et al.* (2018) para examinar a diversidade e estrutura genética de três populações da espécie em Mato Grosso. As três populações apresentaram diversidade genética, mas com compartilhamento de material genético, e conseqüentemente alto índice de endogamia, devido à alta heterozigosidade. Dentro das populações também se observou falta de estrutura genética, mas as análises demonstraram que houve maior diversidade genética dentro do que entre populações. Esses resultados são consequência da fragmentação das áreas e das populações, que reduzem o número de indivíduos e aumentam a chance de consanguinidade entre eles.

Melo *et al.* (2021) estudaram uma população natural (PN) e um teste de progênies (TP) em Sergipe. Constataram que a espécie possui uma dispersão de pólen a longa distância (179 m). Também concluíram que o TP em conservação *ex situ* permite a manutenção em altos níveis de diversidade genética, pois conseguem preservar alelos de populações que não existem mais, e que a coleta de sementes de PN e em TP é benéfica, uma vez que pode se tornar um suporte para o alto nível de diversidade genética da espécie. Os autores, por fim, afirmam que as duas populações são aptas a servirem de fontes de sementes, porém a PN possui menos chances de ocorrência de cruzamento entre árvores relacionadas, devido a sua dioicidia e a impossibilidade de autofecundação, sendo assim mais recomendável.

Cardoso *et al.* (2019), por meio de marcadores ISSR, determinaram a diversidade genética de 15 populações naturais de *G. americana* em Sergipe. Os pesquisadores conseguiram dividir os indivíduos em dois grupos distintos com variabilidade genética. As informações fornecidas serão úteis para definir genótipos a compor o banco de germoplasma de *G. americana* no estado, bem como para contribuir em esforços de conservação desses recursos em futuros programas de melhoramento.

Pesquisas inovadoras acerca da genética de *G. americana* vêm sendo desenvolvidas. Manoel *et al.* (2014) desenvolveram *primers* microssatélites para a espécie *G. americana* com o intuito de otimizar o estudo de diversidade e estrutura genética, bem como o fluxo gênico, em populações naturais de *G. americana*. O trabalho resultou em 17 *primers* identificados como loci polimórficos adequados para a finalidade. Já Silva *et al.* (2014), pela primeira vez, forneceram dados sobre diversidade e estrutura genética em população natural (banco de germoplasma) de *G. americana* utilizando marcadores ISSR, onde geraram quatro grupos a partir dos fragmentos polimórficos e isolaram o genótipo CR1-2 por ser o mais divergente.

Manoel *et al.* (2015a), ao analisarem a herança mendeliana, ligação genética e desequilíbrio gênico em seis loci microssatélites desenvolvidos para a espécie *G. americana* em adultos e regenerantes, observaram que não houve desequilíbrio gênico, ou seja, a frequência de combinação de alelos ocorreu como esperado pela formação aleatória de haplótipos. Ademais, os seis loci exibiram herança mendeliana e ligação genética, mas não foram vinculados, exceto pelo par Gam01xGam24. Portanto, os locis estudados podem ser utilizados em estudos de diversidade e estrutura genética para a espécie.

Manoel *et al.* (2015b) utilizaram seis loci microssatélites para averiguar o nível de consanguinidade dentro e entre frutos de *G. americana*, e nas 25 sementes analisadas, observaram que havia maior incidência de endogamia dentro dos frutos, do que entre eles. Por isso, recomendam que a coleta de sementes de *G. americana* deve ocorrer em, no mínimo, 60 árvores-matrizes, para que a progênie tenha um tamanho efetivo total de 150.

Freitas *et al.* (2018) determinaram a variação genética em árvores de *G. americana* de acordo com as características de crescimento, densidade básica da madeira, massa seca da copa, folha e caule e estoque de carbono dentro e entre duas procedências (São Paulo e Mato Grosso do Sul). Os autores observaram que as duas procedências apresentaram alto armazenamento de carbono, tendo potencial de serem incluídas em programas de crédito de carbono. Esse resultado incentiva que mais estudos sobre estoque de carbono em *G. americana* sejam realizados em mais locais, com o objetivo de incluir essas áreas em programas de crédito de carbono e minimizando os impactos do aquecimento global. Além disso, os autores conseguiram uma amostragem que representasse a variabilidade genética das populações, com baixa herdabilidade, sugerindo um controle genético limitado para as características analisadas e fornecendo base para futuros programas de conservação *ex situ*.

3.2 Ocorrência no Brasil

Do total de 3.916 resultados de sites para o Brasil, a espécie *G. americana* esteve presente em 818 sites, ou seja, em 20,9% dos sites. Todos os Estados brasileiros registraram ocorrência do *G. americana*, exceto Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O bioma predominante na ocorrência da espécie no país foi a Amazônia, concentrando 38,9% dos sites. A Mata Atlântica e o Cerrado concentraram, ambos, 27,0% dos sites, restando apenas 6,8% na Caatinga (Figura 6).

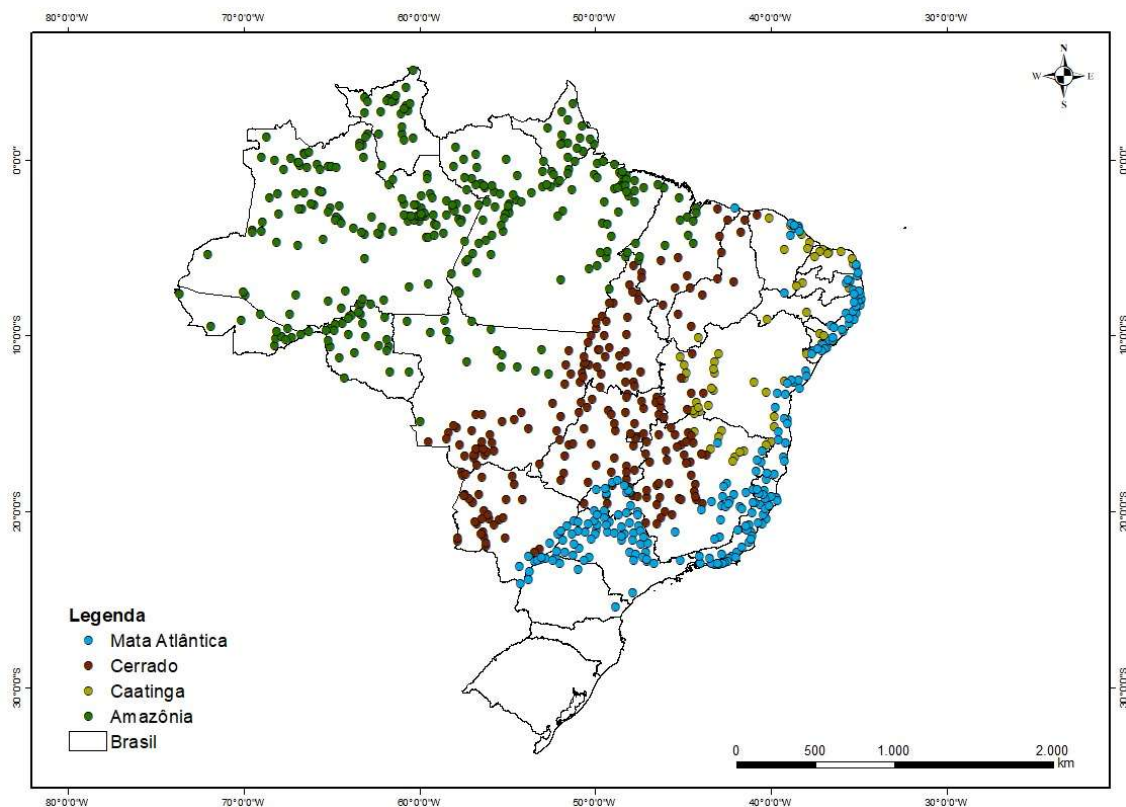


Figura 6. Distribuição dos sites de ocorrência de *Genipa americana* L. nos biomas do território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Na análise de PCA, as três dimensões principais explicaram 69,7% da distribuição da espécie em território brasileiro. No entanto, como as duas primeiras dimensões já explicam 61,3% da variação dos dados, foram considerados apenas os dois primeiros componentes principais para simplificar a visualização e interpretação dos resultados no gráfico biplot, pois a inserção de um terceiro eixo (3ª dimensão) neste caso, tornou-se inviável sua interpretação.

Na primeira dimensão, a variável que mais contribuiu foi a precipitação anual (10%), seguida de severidade do período de excesso hídrico, duração do período de

excesso hídrico, temperatura mínima do mês mais frio, precipitação do mês mais úmido, regime climático, domínio fitogeográfico, temperatura média anual, altitude, precipitação do mês mais seco e duração do período de déficit hídrico, todas com mais de 5% de contribuição, as demais contribuirão abaixo desse valor.

Já na segunda dimensão, com 20% de contribuição tem-se a temperatura máxima do mês mais quente, seguida de severidade do período de déficit hídrico com mais de 15%, duração do período de déficit hídrico e temperatura média anual com mais de 10%, precipitação do mês mais seco, drenagem do solo e regime climático com mais de 5% (Figura 7).

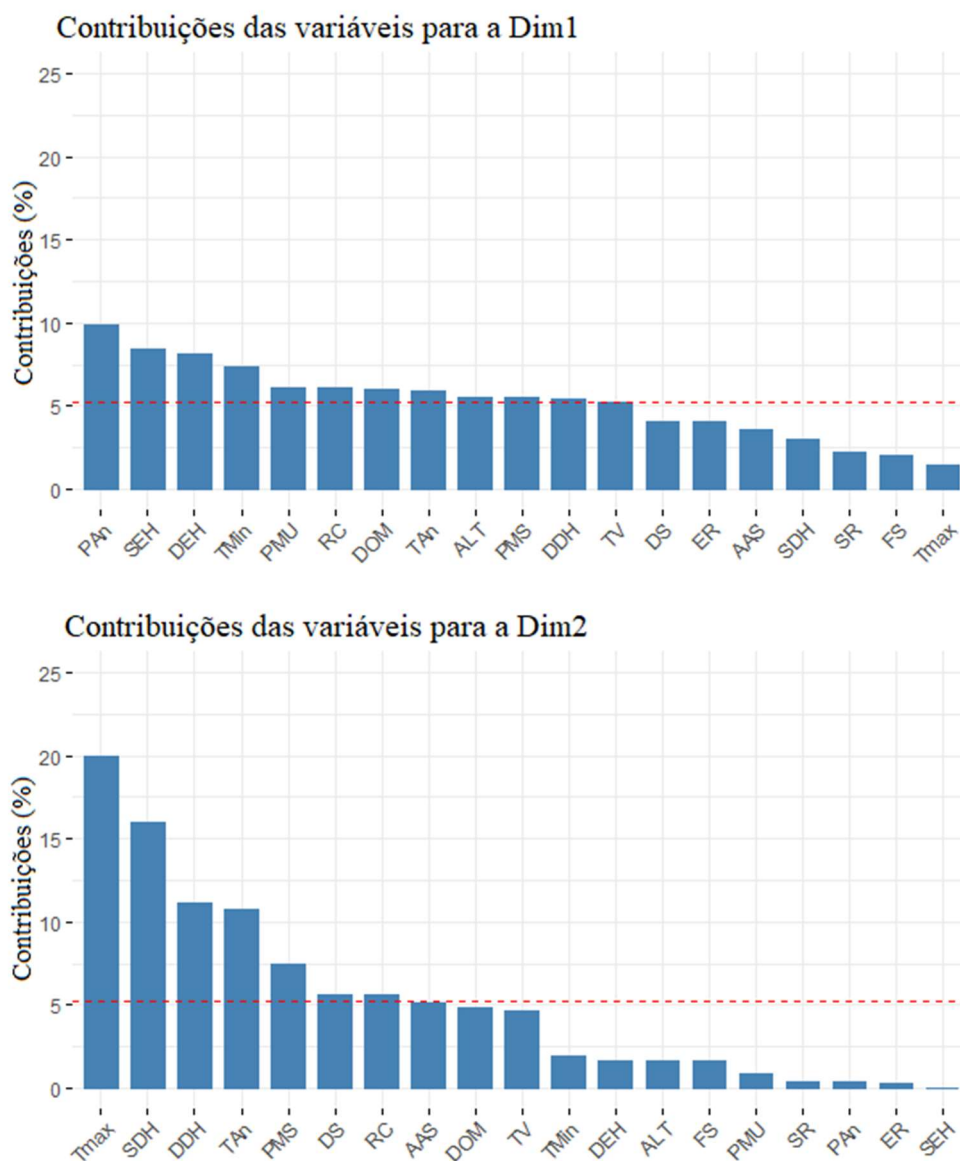
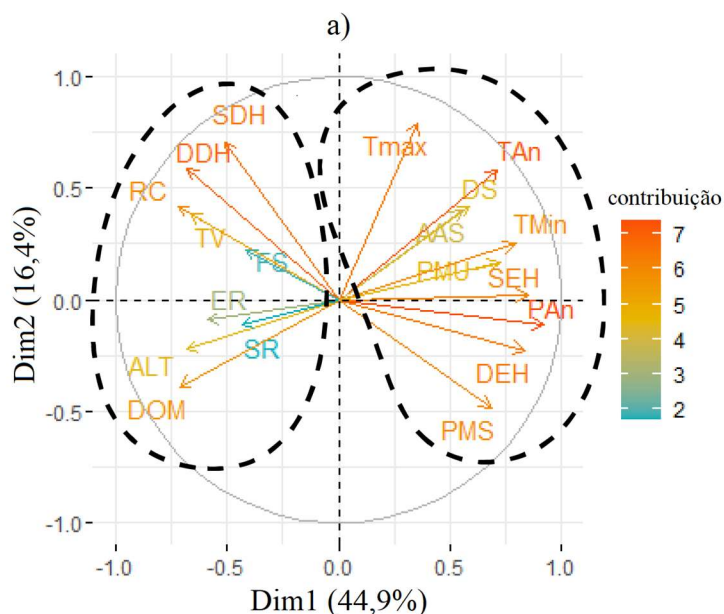


Figura 7. Contribuição das variáveis ambientais e de vegetação nos dois principais componentes para a ocorrência de *Genipa americana* L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree

(OLIVEIRA-FILHO, 2017). ALT: altitude; DOM: domínio fitogeográfico; ER: ecorregião; RC: regime climático; TV: tipo de vegetação; Tan: temperatura média anual (°C); TMax: temperatura máxima do mês mais quente (°C); TMin: temperatura mínima do mês mais frio (°C); PAn: precipitação anual (mm); PMU: precipitação do mês mais úmido (mm); PMS: precipitação do mês mais seco (mm); DDH: duração do período de déficit hídrico (dias); SDH: severidade do período de déficit hídrico (mm); DEH: duração do período de excesso hídrico (dias); SEH: severidade do período de excesso hídrico (mm); SR: superfície rochosa; DS: drenagem do solo; AAS: armazenamento de água no solo; FS: fertilidade do solo.

Ainda, é possível observar pela Figura 8a que as variáveis relacionadas à temperatura e precipitação estão presentes em um único componente principal, bem como as variáveis edáficas com as de vegetação. De forma que esses dois conjuntos influenciam a formação de três grupos de sites de ocorrência de *G. americana* (Figura 8b), um em cada conjunto de variáveis e um terceiro entre os conjuntos.

As variáveis utilizadas para a interpretação dos dados foram temperatura anual, precipitação anual, altitude e regime climático, por essas serem mais comumente discutidas na literatura.



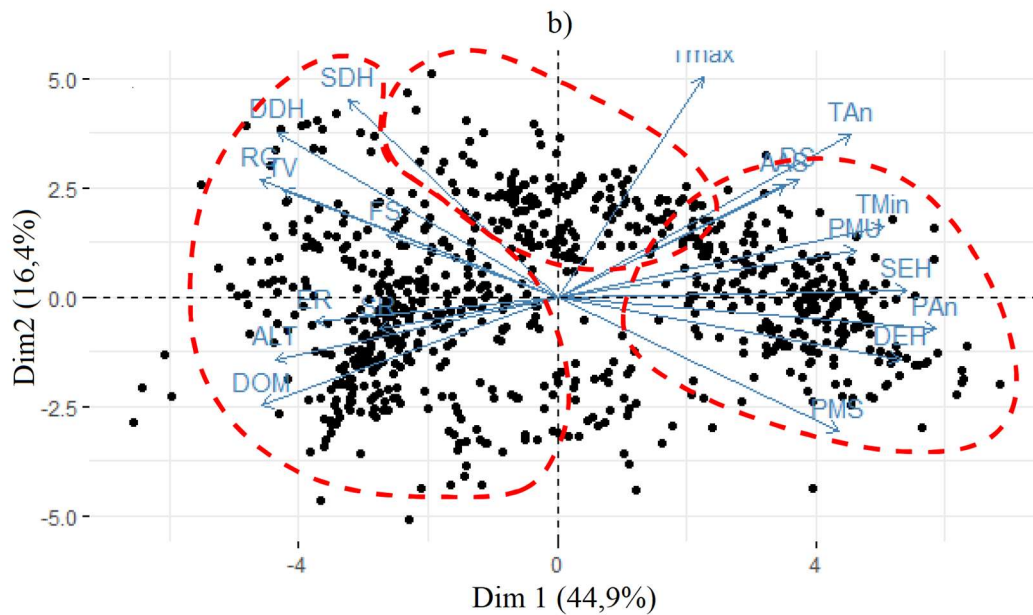


Figura 8. a) Componente principal das variáveis ambientais e; b) Quantidade de sites (locais) que são influenciados pelas variáveis ambientais nos componentes principais que determinam a ocorrência de *Genipa americana* L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017). ALT: altitude; DOM: domínio fitogeográfico; ER: ecorregião; RC: regime climático; TV: tipo de vegetação; TAn: temperatura média anual (°C); TMax: temperatura máxima do mês mais quente (°C); TMin: temperatura mínima do mês mais frio (°C); PAn: precipitação anual (mm); PMU: precipitação do mês mais úmido (mm); PMS: precipitação do mês mais seco (mm); DDH: duração do período de déficit hídrico (dias); SDH: severidade do período de déficit hídrico (mm); DEH: duração do período de excesso hídrico (dias); SEH: severidade do período de excesso hídrico (mm); SR: superfície rochosa; DS: drenagem do solo; AAS: armazenamento de água no solo; FS: fertilidade do solo.

No Brasil, a temperatura anual média dos locais de ocorrência de *G. americana* foi de 24,9°C, com a máxima sendo de 27,9°C e a mínima de 18,2°C. Já a precipitação anual desses locais possui uma média de 1.677,9 mm, com máxima de 3.622 a 509 mm. A ocorrência da *G. americana* varia de áreas com 3 a 1.071 m de altitude, com uma média de 266,3 m. (Figura 9).

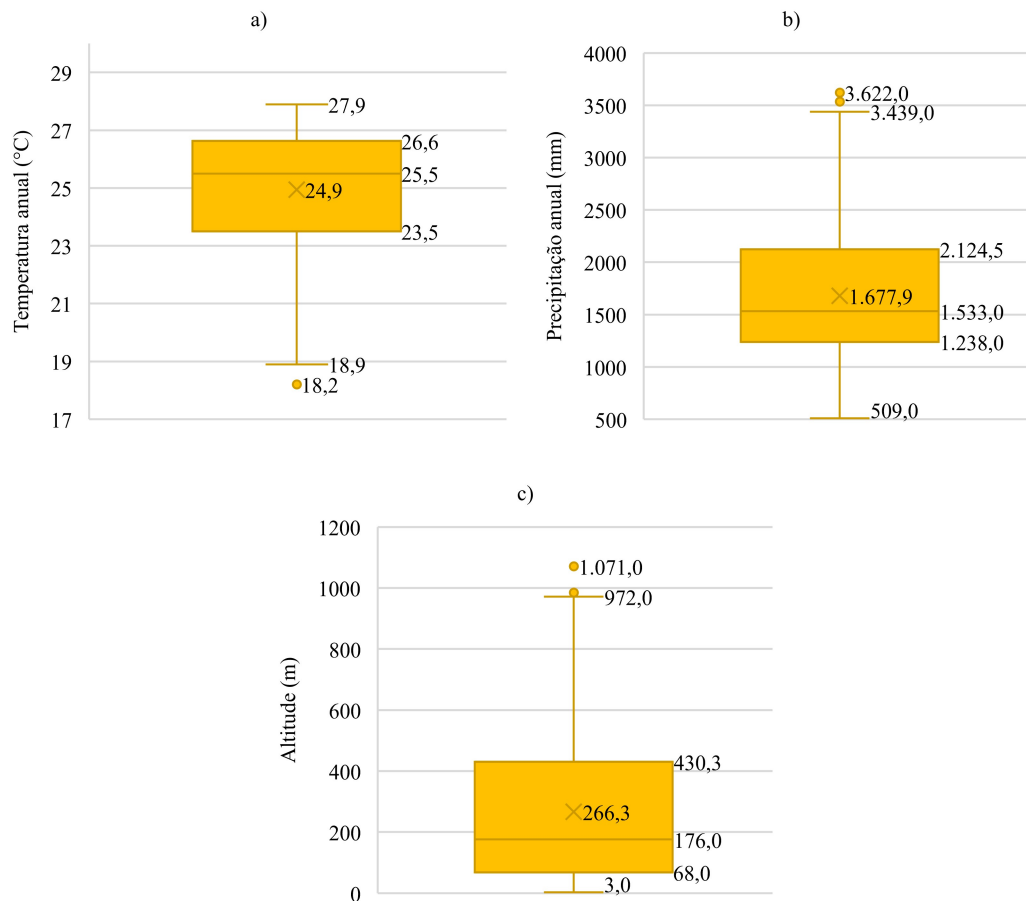


Figura 9. Valores gerais de a) temperatura anual; b) precipitação anual; e c) altitude nos locais de ocorrência de *Genipa americana* L. em território brasileiro, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Com relação aos limites ambientais para a ocorrência de *G. americana* no Brasil, percebe-se que quanto menor a temperatura, menor a chance de ocorrência, com 79 sites (9%) no intervalo de temperatura média anual de 18 a 22°C, e que os locais mais quentes do país têm a presença da espécie com 335 sites (40,9%) apenas na classe de 26 a 28°C, sendo 68,2% (558) se for considerada também a classe de 24 a 26°C (Figura 10a).

A distribuição dos sites em relação à precipitação anual não possui o mesmo comportamento que a distribuição em relação à temperatura, tendo 333 sites (40,7%) na segunda classe que varia de 1.005 a 1.504 mm, decrescendo gradualmente à medida que aumenta a precipitação, concentrando a ocorrência da espécie na segunda, terceira e quarta classes (1.005 a 2.504 mm) (Figura 10b).

A distribuição da altitude é inversa à distribuição da temperatura média anual, apresentando 367 sites (44,8%) na primeira classe de altitude (3 a 152 m), com menor ocorrência da espécie em maiores altitudes (Figura 10c).

A base de dados NeoTropTree classifica o regime climático em: árido, semiárido, nublado, marítimo, pluvial, sazonalmente frio e sazonalmente seco. Não houve ocorrência de *G. americana* em regiões áridas, sazonalmente fria e nublado, e apenas 39 sites (0,47%) em regime marítimo (19; 0,23%) e semiárido (20; 0,24%). O maior nível de ocorrência se deu no regime sazonalmente seco, com 495 registros de ocorrência (60,5%), e 284 (34,7%) no pluvial (Figura 10d).

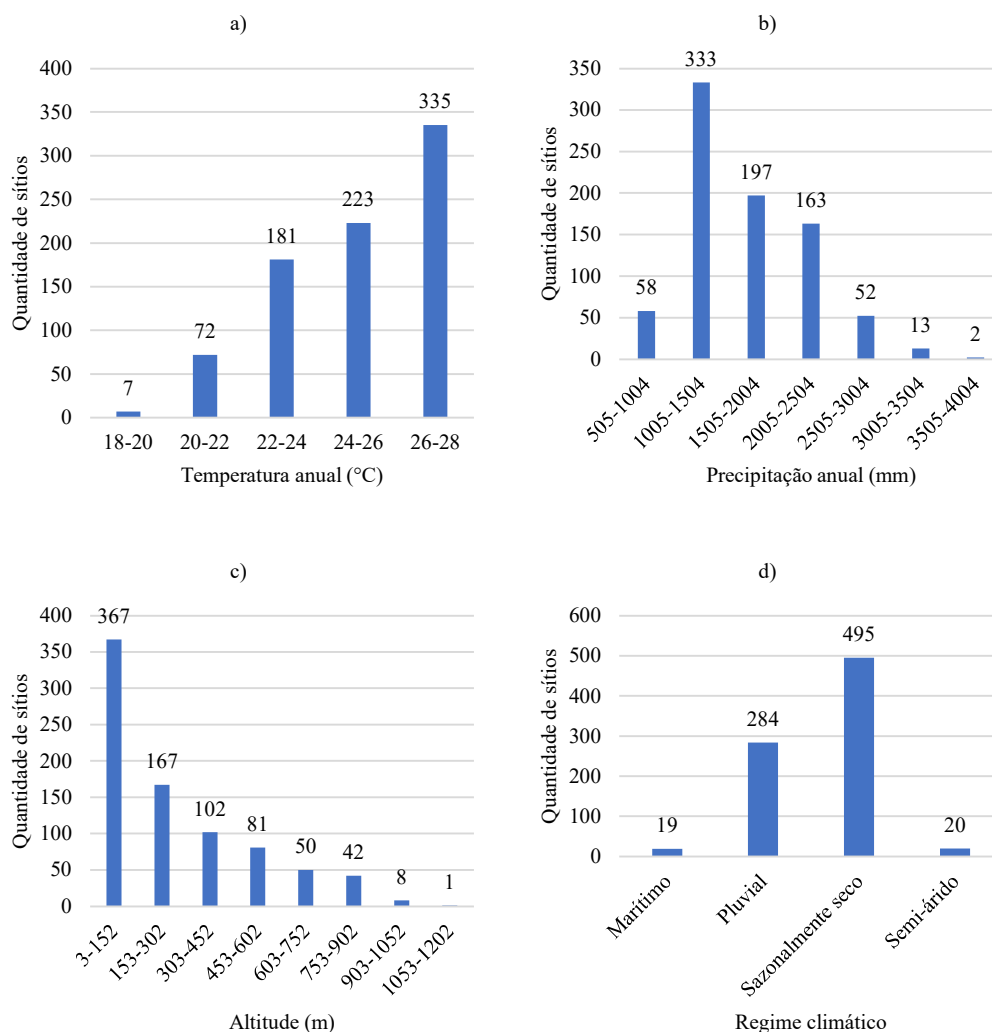
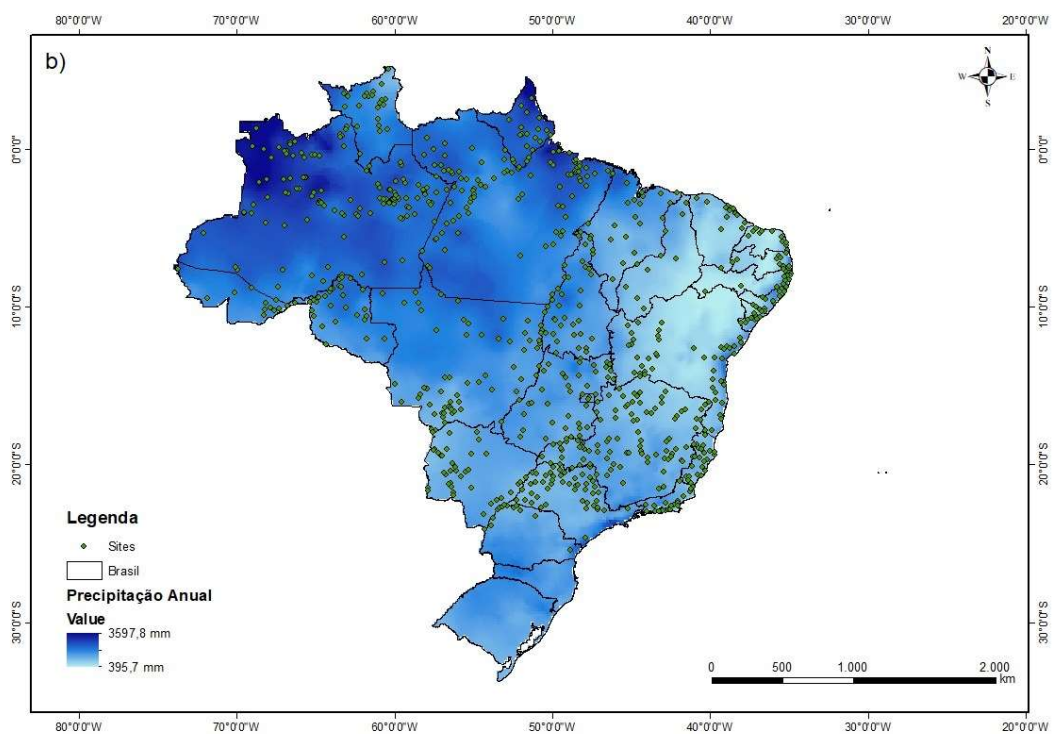
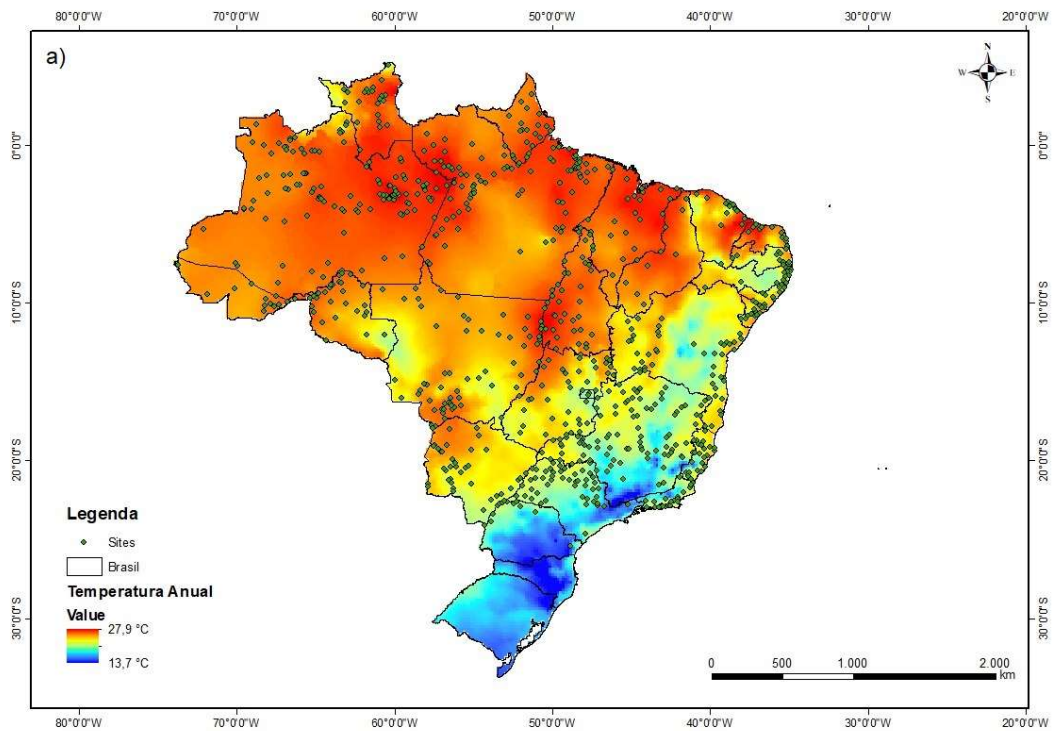


Figura 10. Quantidade de sítios de ocorrência de *Genipa americana* L. em território brasileiro por a) temperatura média anual; b) precipitação anual; c) altitude; e d) regime climático, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Ao observar os mapas gerados da ocorrência de *G. americana* a partir das variáveis ambientais (Figura 11), é possível determinar que a espécie não ocorre no extremo sul do país, porque evita temperaturas médias anuais abaixo de 18°C e regiões sazonalmente frias.

Também possui pouca distribuição pela Caatinga porque, apesar das altas temperaturas, evita regiões semi-áridas e com baixa precipitação (< 509 mm). Além disso, é possível observar outra área que a espécie evita entre Bahia e Santa Catarina, com uma acentuação maior na região Sudeste no país, que possui maiores altitudes, já que a ocorrência da espécie é quase nula em altitudes maiores que 1.000 m.



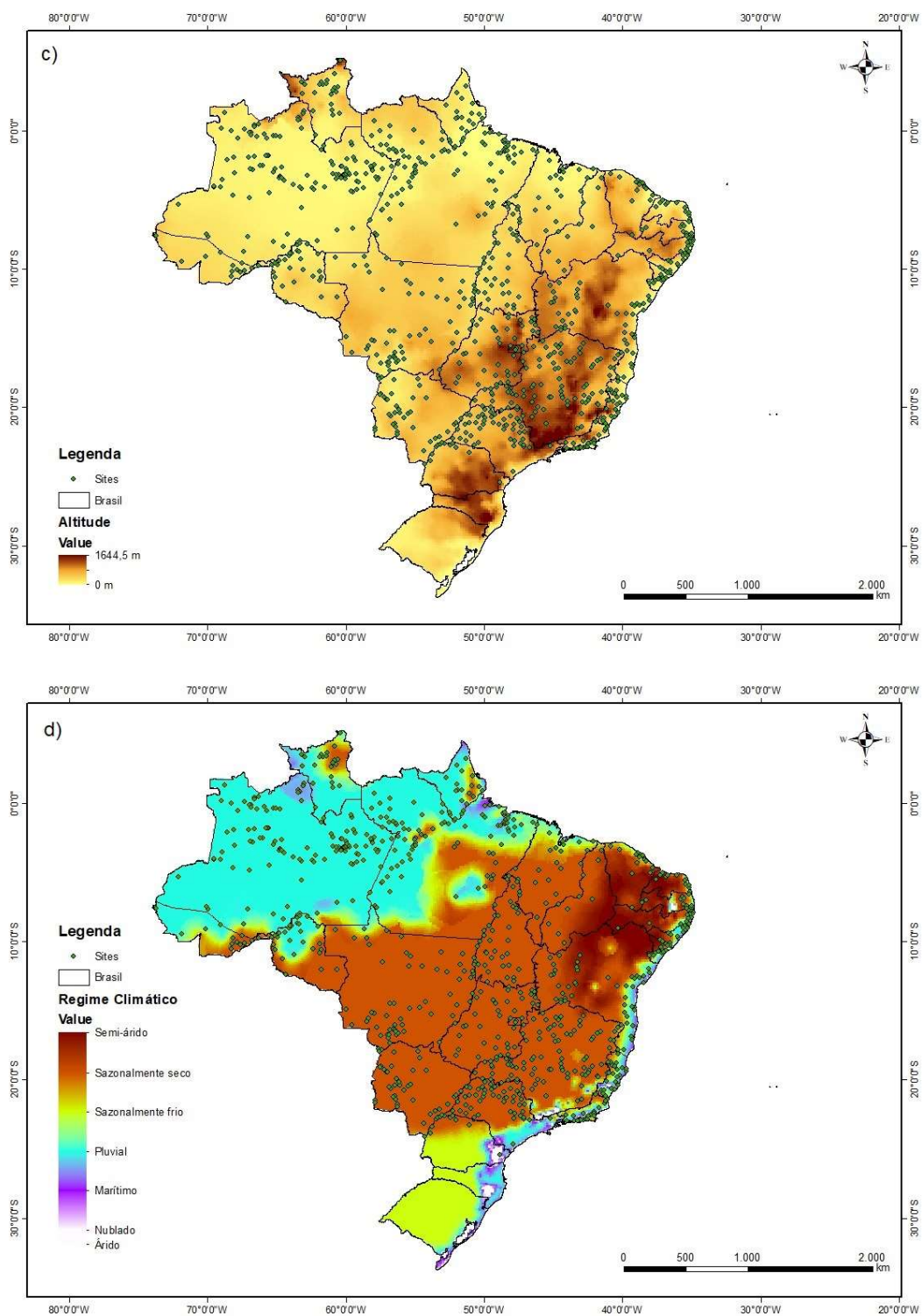


Figura 11. Mapas das variáveis ambientais em relação aos sítios de ocorrência de *Genipa americana* L. em território brasileiro, sendo: a) temperatura média anual; b) precipitação anual; c) altitude; e d) regime climático, conforme a base de dados do NeoTropTree (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

O Brasil possui máxima temperatura anual de 27,9°C e mínima de 11,3°C, sendo as maiores temperaturas nas regiões Norte/Nordeste do Brasil e as menores do Sul/Sudeste, e uma precipitação anual variando de 372 a 3.731 mm, com a região Norte

do país concentrado as maiores precipitações, e o Nordeste as menores (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Em geral, as variáveis climáticas mais utilizadas no entendimento da distribuição da biodiversidade no planeta são temperatura e disponibilidade de água (GASTON, 2000). Ainda segundo o autor, os trópicos são as regiões em que o clima é similar em toda sua extensão, porque o gradiente de temperatura do Equador aos polos é não linear e as áreas que estão imediatamente ao norte e ao sul do Equador possuem climas similares. Essa questão resulta em maiores áreas de alcance geográfico das espécies, maiores taxas de especiação e menor probabilidade de extinções (ROSENZWEIG, 1992, 1995), explicando a ampla ocorrência da *G. americana* em território brasileiro.

Nas plantas, a taxa fotossintética líquida é reduzida, ao passo que a respiração aumenta, quando está em condições de alta temperatura associada à seca (TESKEY *et al.*, 2015). A combinação dessas condições pode ser observada no Nordeste brasileiro, na porção do agreste e sertão do país. Ainda segundo Teskey *et al.* (2015), locais com menores taxas de precipitação provocam aumento do calor sensível do solo e redução da umidade relativa do ar, conseqüentemente aumentando a temperatura, a evapotranspiração e resultando no agravamento do nível de seca pela secagem mais rápida do solo. Portanto, como a *G. americana* também é caracterizada pela preferência de regiões úmidas, inclusive com tolerância ao alagamento (BRANDANI *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2018), a região semi-árida do país não oferece todas as condições ambientais que ela exige.

A temperatura também é um fator determinante na mudança de vegetação altitudinal (ZHANG *et al.*, 2021). Estudos afirmam que há a tendência de que espécies presentes em baixas altitudes migrem para altitudes mais elevadas, tendo o aquecimento global como cenário dessa dinâmica (LENOIR *et al.*, 2008; FADRIQUE; FEELEY, 2016; LAMPRECHT *et al.*, 2018; RUMPF *et al.*, 2019).

Essas mudanças nas condições ambientais também são um catalisador de mudanças nas faixas geográficas de muitos indivíduos arbóreos (DYDERSKI; JAGODZIŃSKI, 2018). Com isso, existe a hipótese de que a *G. americana* migre para as áreas do mapa com altitudes maiores nas quais ela não ocorre atualmente, provavelmente pela dispersão entomófila do pólen (CRESTANA *et al.*, 1993), caso o aumento da temperatura global seja uma realidade no futuro.

Além da altitude, a única variável edáfica que influenciou a ocorrência da *G. americana* no Brasil foi a drenagem do solo, que está diretamente relacionada com a

severidade e duração dos períodos de excesso e déficit hídrico, bem como com a precipitação anual (KUMAR *et al.*, 2021). Variáveis edáficas influenciaram a abundância, composição e diversidade de espécies no Cerrado e na Amazônia, no trabalho de Pessoa *et al.* (2021), que foram resultantes das condições propriedades do solo, isolamento geográfico e influências florísticas dos dois biomas.

Considerando que as condições edáficas, apesar de não entrarem com grandes contribuições para definição dos componentes principais, são importantes para a ocorrência de espécies florestais. É possível sugerir que a *G. americana* possui boa adaptação às variações de superfície rochosa, armazenamento de água no solo e fertilidade do solo ocorrentes no Brasil, já que não limitaram sua distribuição no território.

4. CONCLUSÃO

Com relação ao seu estado de desenvolvimento científico, existe um grande aparato científico acerca dos protocolos de condução de indivíduos da espécie, bem como de seu comportamento quando submetidas a alguns estresses ambientais. Percebe-se que há uma crescente na descrição da composição genética de populações naturais específicas de *G. americana*, porém não há estudos suficientes em relação a caracterização de populações que envolvam testes de variáveis abióticas, como as ambientais, afim de determinar possíveis locais de fontes de material genético/reprodutivo, e para quais locais as mesmas seriam adaptadas. Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos que testem condições ambientais adversas em populações naturais diversificadas geneticamente.

O presente estudo auxilia na complementação do conhecimento sobre ocorrência geográfica e variáveis climáticas em relação à *G. americana*. A espécie está bem adaptada a altas temperaturas, altas taxas de precipitação e baixos relevos. Portanto, com as mudanças climáticas iminentes, ela poderá ser empregada na restauração de regiões quentes. Entretanto, locais que são atualmente secos ou que estão ameaçados de secarem ao longo dos anos, não são adequados para a *G. americana*. As regiões de altas altitudes podem sofrer imigrações da espécie ao longo do tempo, pelo possível aumento de temperatura.

Assim, essas informações incrementam a recomendação de *G. americana* para projetos de restauração florestal, sendo uma espécie de possível adaptação a regiões alteradas climaticamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÑINO RAMOS, Y. J.; MONGE NÁJERA, J.; MURILLO-GONZÁLEZ, D.; MICHÁN-AGUIRRE, L. Cómo aplicar la cienciométrica a la investigación ecológica. **Ecosistemas**, v. 30, n. 2, p. 2256–2256, 2021. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2256>
- ANTES, V. A.; COMERLATO, A. P.; SCHUELTER, A. R.; CARNEIRO, R. M. D. G.; FURLANETTO, C. Native-plant hosts of Meloidogyne spp. from Western Paraná, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 2, p. 213–219, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000200005>
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- ARRUDA, S. A.; VAZQUEZ, G. H.; SÁ JÚNIOR, A.; VANZELA, L. S. View of physiological potential of jenipapo seeds stored in different packages. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 2, p. 287–295, 2018. <https://doi.org/10.14393/BJ-v34n2a2018-38452>
- BARBOSA, R. M. T.; ALMEIDA, A. A. F.; MIELKE, M. S.; LOGUERCIO, L. L.; MANGABEIRA, P. A. O.; GOMES, F. P. A physiological analysis of *Genipa americana* L.: A potential phytoremediator tree for chromium polluted watersheds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 3, p. 264–271, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.001>
- BERLIN, M.; JANSSON, G.; HÖGBERG, K.-A. Genotype by environment interaction in the southern Swedish breeding population of *Picea abies* using new climatic indices. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 2, p. 112–121, 2015. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.978889>
- BERTIN, A.; ESPINOSA, M. I.; BUSTAMANTE, C. A.; TRONCOSO, A. J.; GOUIN, N. Genome-wide genetic diversity yields insights into genomic responses of candidate climate-selected loci in an Andean wetland plant. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73976-3>
- BEZERRA, A. K. D.; SILVA, G. Z.; NASCIMENTO, L. C.; BRUNO, R. de L. A.; MEDEIROS, J. G. F. Extração da mucilagem em sementes de *Genipa americana* L. visando o potencial fisiológico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, 2015. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150066>
- BRANDANI, J. Z.; JUNGLOS, M. S.; SANTIAGO, E. F.; SCALON, S. de P. Q.; MUSSURY, R. M. Are seeds of *Genipa americana* L. (Rubiaceae) tolerance to water submersion? **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 20170764, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.170764>
- CARDOSO, M. N.; NASCIMENTO, A. L. S.; OLIVEIRA, L. A. R.; ASSUNÇÃO, D. A.; MACHADO, C. A.; DE OLIVEIRA, A. C. A.; DE JESUS, A. S.; LÉDO, A. S.; ARCHIMINIO, R. S.; RABBANI, A. R. C.; SILVA, A. V. C. Genetic diversity in native *Genipa americana* (Rubiaceae) populations in Sergipe, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 1, p. gmr18119, 2019. <https://doi.org/10.4238/gmr18119>
- CRESTANA, M. S. M.; TOLEDO FILHO, D. V.; CAMPOS, J. B. **Florestas: sistemas e recuperação com essências nativas**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 60 p

- CUNHA, F. L. R.; BERNHARD, R.; VOGT, R. C. Diet of an Assemblage of Four Species of Turtles (*Podocnemis*) in the Rio Uatumã, Amazonas, Brazil. **Copeia**, v. 108, n. 1, p. 103–115, 2020. <https://doi.org/10.1643/CE-18-117>
- DAS VIRGENS, P. B. S.; CONCEIÇÃO, T. A.; BARBOSA, R. M. Tetrazolium test to evaluate viability and vigour in *Genipa americana* seeds. **Seed Science and Technology**, v. 47, n. 3, p. 307–318, 2019. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.3.06>
- DYDERSKI, M. K.; JAGODZIŃSKI, A. M. Drivers of invasive tree and shrub natural regeneration in temperate forests. **Biol Invasions**, v. 20, n. 9, p. 2363–2379, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1706-3>
- ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B. A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. M. M.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S. J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBERÓN, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, N. E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129–151, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- FADRIQUE, B.; FEELEY, K. J. Commentary: Novel competitors shape species' responses to climate change. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 0, n. APR, p. 33, 2016. <https://doi.org/10.3389/fevo.2016.00033>
- FREITAS, M. L. M.; COLETO, A. L.; SANTOS, W.; MORAES, M. A.; CAMBUIM, J.; NASCIMENTO, S. S.; FERRACINI, J.; LONGUI, E. L.; MORAES, M. L. T. Genetic variation in silvicultural traits and carbon stock content in a provenance-progeny test of *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Silvae Genetica**, v. 67, n. 1, p. 133–138, 2018. <https://doi.org/10.2478/sg-2018-0020>
- FRITZONS, E.; AGUIAR, A. V. de; GRABIAS, J.; FREITAS, M. L. M. de; WREGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 79–92, 2012.
- GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 220–227, 2000. <https://doi.org/10.1038/35012228>
- GOMES, M. **Flora do Brasil - *Genipa americana* L.** 2020.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses.** 2020.
- KING, G. M.; GUGERLI, F.; FONTI, P.; FRANK, D. C. Tree growth response along an elevational gradient: climate or genetics? **Oecologia**, v. 173, n. 4, p. 1587–1600, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2696-6>
- KUMAR, A.; KUMAR, P.; SINGH, H.; KUMAR, N. Impact of plant functional traits on near saturated hydraulic conductivity of soil under different forests of Kempty watershed in Garhwal Himalaya. **Indian Journal of Soil Conservation**, v. 49, n. 1, p. 38–44, 2021. <https://doi.org/10.18520/cs/v120/i8/1368-1373>
- LAMPRECHT, A.; SEMENCHUK, P. R.; STEINBAUER, K.; WINKLER, M.; PAULI, H. Climate change leads to accelerated transformation of high-elevation vegetation in the central Alps. **New Phytologist**, v. 220, n. 2, p. 447–459, 2018. <https://doi.org/10.1111/nph.15290>

- LATUTRIE, M.; MÉRIAN, P.; PICQ, S.; BERGERON, Y.; TREMBLAY, F. The effects of genetic diversity, climate and defoliation events on trembling aspen growth performance across Canada. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 5, p. 1–14, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11295-015-0925-3>
- LENOIR, J.; GÉGOUT, J. C.; MARQUET, P. A.; RUFFRAY, P. de; BRISSE, H. A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. **Science**, v. 320, n. 5884, p. 1768–1771, 2008. <https://doi.org/10.1126/science.1156831>
- LIMA, M. A. O.; MIELKE, M. S.; LAVINSKY, A. O.; FRANÇA, S.; ALMEIDA, A.-A. F.; GOMES, F. P. Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 527–534, 2010.
- MAGISTRALI, P. R.; JOSÉ, A. C.; FARIA, J. M. R.; GASPARIN, E. Comportamento fisiológico de sementes de *Genipa americana* L. quanto à tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 495–500, 2013.
- MAGISTRALI, P. R.; JOSÉ, A. C.; FARIA, J. M. R.; NASCIMENTO, J. F. Slow drying outperforms rapid drying in augmenting the desiccation tolerance of *Genipa americana* seeds. **Seed Science and Technology**, v. 43, n. 1, p. 101–110, 2015. <https://doi.org/10.15258/sst.2015.43.1.11>
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; BARRETO, M. A.; MORAES, M. L. T.; SOUZA, A. P.; SEBBENN, A. M. Development and characterization of 32 microsatellite loci in *Genipa americana* (Rubiaceae). **Applications in Plant Sciences**, v. 2, n. 3, p. 1300084, 2014. <https://dx.doi.org/10.3732%2Fapps.1300084>
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; JÚNIRO, E. F.; ALVES, P. F.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Individual, fruit, and annual variation in correlated mating in a *Genipa americana* population. **Silvae Genetica**, v. 64, n. 3, p. 108–116, 2015 a. <http://dx.doi.org/10.1515/sg-2015-0010>
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; TAMBARUSSI, E. V.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Mendelian inheritance, genetic linkage, and genotypic disequilibrium at microsatellite loci in *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8161–8169, 2015 b. <http://dx.doi.org/10.4238/2015.July.27.4>
- MELO, M. F. de V.; SEBBENN, A. M.; ROSSINI, B. C.; MUNIZ, A. V. C. da S.; RODRIGUES, C. J.; MARINO, C. L.; MORAES, M. L. T. de. Estimating genetic diversity, mating system and pollen dispersal to inform ex situ conservation of the tree *Genipa americana* L. **Plant Genetic Resources**, v. 19, n. 1, p. 9–19, 2021. <http://dx.doi.org/10.1017/S1479262121000022>
- MI, C.; HUETTMANN, F.; GUO, Y.; HAN, X.; WEN, L. Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting evidence. **PeerJ**, v. 5, n. 1, p. e2849, 2017. <https://dx.doi.org/10.7717%2Fpeerj.2849>
- MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; GOMES, F. P.; AGUILAR, M. A. G.; MANGABEIRA, P. A. O. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 50, n. 3, p. 221–231, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00036-4)

OLIVEIRA-FILHO, A. T. **NeoTropTree, Flora arbórea da Região Neotropical: Um banco de dados envolvendo biogeografia, diversidade e conservação.** 2017.

OLIVEIRA, L. M.; SILVA, E. de O.; BRUNO, R. L. A.; ALVES, E. U. Periods and dry environments in the seeds quality of *Genipa americana* L. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 495–502, 2011. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p495>

PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology and Biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361–371, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>

PESSOA, M. J. G.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; ABADIA, A. C.; OLIVEIRA, B. de; SNVA, I. V. da; LENZA, E. Floristic composition, diversity and edaphic effects in two rocky savanna communities in the Amazon and Cerrado, Brazil. **Ciencia Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1383–1407, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509841937>

PIRES, H. R. A.; FRANCO, A. C.; PIEDADE, M. T. F.; SCUDELLER, V. V.; KRUIJT, B.; FERREIRA, C. S. Flood tolerance in two tree species that inhabit both the Amazonian floodplain and the dry Cerrado savanna of Brazil. **AoB PLANTS**, v. 10, n. 6, p. ply065, 2018. <https://dx.doi.org/10.1093%2Faobpla%2Fply065>

PRADO, J. R.; PERCEQUILLO, A. R.; PIRANI, R. M.; THOMAZ, A. T. Phenotypic and genomic differences between biomes of the South America marsh rat, *Holochilus brasiliensis*. **Biological Journal of the Linnean Society**, p. blab132, 2021. <https://doi.org/10.1093/biolinnea/blab132>

QUEIROZ, S. E. E. **Mecanismo e controle da germinação de sementes de *Genipa americana* L.** Dissertação. Universidade Federal de Lavras. 2009.

RABBANI, A. R. C.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Variabilidade genética de *Genipa americana* L. pertencente ao baixo curso do Rio São Francisco. **Revista Arvore**, v. 36, n. 3, p. 401–409, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300002>

RAGUSA-NETTO, J. Ecologia alimentar do aracuaã-do-pantanal (*Ortalis canicollis*) em uma floresta ripária no Pantanal Sul. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 1, p. 49–57, 2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07113>

REHFELDT, G. E.; WORRALL, J. J.; MARCHETTI, S. B.; CROOKSTON, N. L. Adapting forest management to climate change using bioclimate models with topographic drivers. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 88, n. 5, p. 528–539, 2015. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv019>

ROSENZWEIG, M. L. Species Diversity Gradients: We Know More and Less Than We Thought. **Journal of Mammalogy**, v. 73, n. 4, p. 715–730, 1992. <https://doi.org/10.2307/1382191>

ROSENZWEIG, M. L. **Species Diversity in Space and Time.** Cambridge University Press, 1995.

RUMPF, S. B.; HÜLBER, K.; WESSELY, J.; WILLNER, W.; MOSER, D.; GATTRINGER, A.; KLONNER, G.; ZIMMERMANN, N. E.; DULLINGER, S. Extinction debts and colonization credits of non-forest plants in the European Alps. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2019. <http://doi.org/10.1038/s41467-019-12343-x>

RUZZA, D. A. C.; ROSSI, A. A. B.; BISPO, R. B.; TIAGO, A. V.; COCHEV, J. S.; ROSSI, F. S.; FERNANDES, J. M. The genetic diversity and population structure of

- Genipa americana* (Rubiaceae) in Northern Mato Grosso, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 4, p. gmr18017, 2018. <https://doi.org/10.4238/gmr18017>
- SAHRAGARD, H. P.; AJORLO, M.; KARAMI, P. Landscape structure and suitable habitat analysis for effective restoration planning in semi-arid mountain forests. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 2021. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00289-2>
- SALLA, F.; JOSÉ, A. C.; FARIA, J. M. R. Análise ecofisiológica de *Genipa americana* L. em banco de sementes induzido. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 93–100, 2016. <https://doi.org/10.1590/0104776020162212047>
- SANTANA, K. B.; ALMEIDA, A. A. F.; SOUZA, V. L.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C.; GOMES, F. P.; DUTRUCH, L.; LOGUERCIO, L. L. Physiological analyses of *Genipa americana* L. reveals a tree with ability as phytostabilizer and rhizofilterer of chromium ions for phytoremediation of polluted watersheds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 80, p. 35–42, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.02.004>
- SANTIAGO, R.; SILVA, N. H.; SILVA, F. P.; MARTINS, M. C. B.; VASCONCELOS, T. L.; YANO-MELO, A. M.; PEREIRA, E. C. Interactions of the lichen *Cladonia salzmannii* nyl. With soil, microbiota, mycorrhizae and *Genipa americana*. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 3, p. 833–850, 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005002402>
- SANTOS, A. R. F.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Restrição hídrica em sementes de jenipapo (*Genipa americana* L.). **Revista Arvore**, v. 35, n. 2, p. 213–220, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000200006>
- SANTOS, C. S.; DALMOLIN, A. C.; SCHILLING, A. C.; SANTOS, M. S.; SCHAFFER, B.; MIELKE, M. S. Root deformation affects mineral nutrition but not leaf gas exchange and growth of *Genipa americana* seedlings during the recovery phase after soil flooding. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e234018, 2021. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.234018>
- SASSAQUI, A. R.; TERENA, T. F. da S.; COSTA, E. Ambientes protegidos e substratos para formação de mudas de jenipapeiro. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 143–152, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200003>
- SCHEIDT, S.; VAVKEN, P.; JACOBS, C.; KOOB, S.; CUCCHI, D.; KAUP, E.; WIRTZ, D. C.; WIMMER, M. D. Systematic Reviews and Meta-analyses. **Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie**, v. 157, n. 04, p. 392–399, 2019.
- SILVA, A. V. C.; FREIRE, K. C. S.; LÉDO, A. da S.; RABBANI, A. R. C. Diversity and genetic structure of jenipapo (*Genipa americana* L.) Brazilian accessions. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 387–393, 2014. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0038>
- SILVA, A. V.; SILVA, A. V. C.; MUNIZ, E. N.; ALMEIDA, C. S.; VITORIA, M. F.; MELO, M. F. V.; LEDO, A. S.; RABBANNI, A. R. C. Genetic diversity and sex identification in *Genipa americana* L. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 18, n. 1, 2015.
- SILVA, M. V.; CHAER, G. M.; LELES, P. S. dos S.; RESENDE, A. S.; SILVA, E. V.; BARROS, T. de O. C. Uso de bio sólido em plantios de espécies da Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, p. e2728, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.16>

- SOARES, A. C. F.; SOUSA, C. da S.; GARRIDO, M. da S.; LIMA, F. de S. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 1, p. 47–54, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100006>
- SOUZA, V. L.; ALMEIDA, A. A. F.; LIMA, S. G. C.; JÚLIO, J. C.; SILVA, D. da C.; MANGABEIRA, P. A. O.; GOMES, F. P. Morphophysiological responses and programmed cell death induced by cadmium in *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **BioMetals**, v. 24, n. 1, p. 59–71, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9374-5>
- TEAM, R. C. R: **A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- TESKEY, R.; WERTIN, T.; BAUWERAERTS, I.; AMEYE, M.; MCGUIRE, M. A.; STEPPE, K. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 9, p. 1699–1712, 2015. <https://doi.org/10.1111/pce.12417>
- VALENTA, K.; HOPKINS, M. E.; MEEKING, M.; CHAPMAN, C. A.; FEDIGAN, L. M. Spatial patterns of primary seed dispersal and adult tree distributions: *Genipa americana* dispersed by *Cebus capucinus*. **Journal of Tropical Ecology**, v. 31, n. 6, p. 491–498, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0266467415000577>
- WALENTOWSKI, H.; FALK, W.; METTE, T.; KUNZ, J.; BRÄUNING, A.; MEINARDUS, C.; ZANG, C.; SUTCLIFFE, L. M. E.; LEUSCHNER, C. Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods: a case study in southern Germany. **Annals of Forest Research**, v. 60, n. 1, p. 101–126, 2017. <http://dx.doi.org/10.15287/afr.2016.789>
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.
- WOLFE, B. T. Retention of stored water enables tropical tree saplings to survive extreme drought conditions. **Tree Physiology**, v. 37, n. 4, p. 469–480, 2017. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx001>
- WOLFE, B. T.; SPERRY, J. S.; KURSAR, T. A. Does leaf shedding protect stems from cavitation during seasonal droughts? A test of the hydraulic fuse hypothesis. **New Phytologist**, v. 212, n. 4, p. 1007–1018, 2016. <https://doi.org/10.1111/nph.14087>
- YUAN, D.; ZHU, L.; CHERUBINI, P.; LI, Z.; ZHANG, Y.; WANG, X. Species-specific indication of 13 tree species growth on climate warming in temperate forest community of northeast China. **Ecological Indicators**, v. 133, p. 108389, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108389>
- ZHANG, Y.; LIU, L.; LIU, Y.; ZHANG, M.; AN, C. Response of altitudinal vegetation belts of the Tianshan Mountains in northwestern China to climate change during 1989–2015. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–9, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84399-z>

CAPÍTULO II

SELEÇÃO GENÉTICA DE ÁRVORES MATRIZES DE *Genipa americana* L. NA RESERVA BIOLÓGICA DE SALTINHO – PE

COLA, RAQUEL ELVIRA. **SELEÇÃO GENÉTICA DE ÁRVORES MATRIZES DE *Genipa americana* L. NA RESERVA BIOLÓGICA DE SALTINHO – PE. 2022.** Orientador: Ricardo Gallo. Coorientadora: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

RESUMO

Considerando que a genética deve ser examinada em projetos de restauração florestal, análises com caracteres fenotípicos são mais práticas de serem implementadas em viveiros florestais. A *Genipa americana* L. é uma espécie essencial na produção de mudas para esse fim. O objetivo desse estudo foi selecionar árvores matrizes para coleta de sementes da espécie *G. americana* em área de Floresta Atlântica, por meio do estudo da divergência genética em frutos e sementes dessas matrizes. O estudo foi conduzido na Reserva Biológica de Saltinho, situada em Tamandaré – PE, Brasil. Foi feito um senso de *G. americana* na reserva, totalizando 28 indivíduos. Também foram coletados os frutos maduros das primeiras 11 árvores. Foi feita a análise espacial dos indivíduos com o *software* QGis Desktop 2.18.3. Foi feita a análise espacial dos indivíduos, caracterização física e físico-química dos frutos, caracterização biométrica das sementes e análise da emergência das sementes. Para as análises genéticas, o modelo utilizado foi o modelo 81 do *software* Selegen REML/BLUP e a análise de agrupamento pelo método de UPGMA. Também foi criado o índice de seleção das matrizes. Na espacialização dos indivíduos, é possível notar um agrupamento na borda do fragmento. Os coeficientes de determinação dos efeitos das matrizes foram baixos, pois há uma grande interação entre os ambientes em que cada uma está inserida. É possível afirmar que todas as variáveis contribuem na explicação da dissimilaridade genética entre as matrizes. As matrizes 1, 4 e 6 foram as que obtiveram melhores ranques médios para as variáveis coletadas em relação aos genótipos, respectivamente. A Reserva Biológica de Saltinho é uma boa fonte de material genético/reprodutivo para a espécie *G. americana* para fins de restauração florestal.

Palavras-chave: sementes florestais, biometria, classificação de matrizes, divergência genética, jenipapo.

COLA, RAQUEL ELVIRA. **GENETIC SELECTION OF MOTHER TREES OF *Genipa americana* L. IN THE SALTINHO BIOLOGICAL RESERVE - PE. 2022.**
Advisor: Ricardo Gallo. Co-advisor: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

ABSTRACT

Considering that genetics must be considered in forest restoration projects, analyses based on phenotypic characters are more practical to be implemented in forest nurseries. *Genipa americana* L. is an essential species in producing seedlings for this purpose. The objective of this study was to select mother trees for seed collection of the species *G. americana* in an area of Atlantic Forest through analysis of genetic divergence in fruits and seeds of these mother trees. The study was conducted in the Saltinho Biological Reserve, located in Tamandaré – PE, Brazil. A census of *G. americana* was made in the Reserve, totaling 28 individuals. The first 11 trees' ripe fruits were also collected. Spatial analysis of individuals was performed using QGIS Desktop 2.18.3 software. The physical and physicochemical characterization of the fruits, biometric characterization of the seeds, and analysis of seed emergence were carried out. For the genetic analysis, the model used was model 81 of the Selegen REML/BLUP software and the cluster analysis by the UPGMA method. The mother tree selection index was also created. In the spatialization of individuals, it is possible to notice a grouping at the edge of the fragment. In the biometric variables of the seeds, mother tree 6 obtained superior values in six variables. The coefficients for determining the effects of the matrices were low, as there is significant interaction between the environments in which each one is inserted. It is possible to affirm that all the variables contribute to explaining the genetic dissimilarity between mother trees. The mother trees 1, 4, and 6 were the ones that obtained the best average ranks concerning the genotypes, respectively. The Saltinho Biological Reserve is a good source of genetic/reproductive material for the *G. americana* for forest restoration purposes.

Keywords: forest seeds, biometry, mother trees classification, genetic divergence, genipap.

1. INTRODUÇÃO

A variação genética em uma espécie vegetal e a estruturação genética complexa de uma população florestal são determinadas por fatores como o sistema de cruzamento, seleção natural, evolução ao longo do tempo e mecanismos de fluxo gênico (COSTA *et al.*, 2021). As árvores normalmente têm altas taxas de cruzamento e grandes tamanhos populacionais efetivos, devido a dioiccia e alogamia de algumas espécies, bem como os mecanismos de dispersão a longa distância, ou até mesmo a autoincompatibilidade em algumas espécies, com longo período juvenil, etc. (TAMBARUSSI *et al.*, 2016). Essa condição acaba resultando em baixos níveis de desequilíbrio gênico (MORITSUKA *et al.*, 2012).

As espécies de árvores dominantes são espécies-chave para muitas comunidades ecológicas complexas, e muitas ocupam habitats altamente heterogêneos. Por meio disso, é possível avaliar a diversidade de recursos de germoplasma em estudos quantitativos e qualitativos com base nas características fenotípicas de determinada espécie (ZHANG *et al.*, 2021).

Os genótipos, combinados com a influência do ambiente, produzem uma plasticidade fenotípica nas espécies que as adaptam às diferentes condições ambientais. Uma vez que há essa variação de respostas fenotípicas, os genótipos são naturalmente selecionados ao longo do tempo, já que alelos recessivos são eliminados por seleção natural, com apenas os materiais mais adaptados possuindo descendentes. Isso resulta em mudanças nas frequências dos alelos nos loci genéticos específicos representados por essas características e, finalmente, em populações localmente adaptadas (ORSINI *et al.*, 2013; SKRØPPA; STEFFENREM, 2021). Quando é possível especular as condições ambientais futuras de determinada região, torna-se viável ajustar os genótipos mais adequados para essas zonas de implantação e/ou reprodução (BERLIN; JANSSON; HÖGBERG, 2015).

Para que essa adaptação ao ambiente seja satisfatória, o estudo da divergência genética entre árvores matrizes potenciais é fundamental, pois o conhecimento da origem genética do material de propagação, e a manutenção *ex situ* das espécies complementa os esforços de conservação servindo de parâmetro para o manejo *in situ* (SEBBENN, 2002; POTTER *et al.*, 2017).

Indivíduos com baixa variabilidade genética prejudicam a estabilização e manutenção tanto da população implantada, quanto do ecossistema como um todo, pois causam efeitos como “efeito fundador”, advindo da deriva genética, em que populações

são fundadas por poucos indivíduos e resulta em menor variabilidade genética local (NEI *et al.*, 1975). Por isso, a seleção de árvores matrizes por meio de avaliações biométricas em frutos e sementes, químicas dos frutos e de germinação de sementes é comumente realizada, pois representam a variabilidade genética das árvores-mãe, e evitam a chance de endogamia em futuros projetos que as utilizem como fonte de material de reprodução (SEBBENN, 2002; VIEIRA; GUSMÃO, 2008; CORREIA *et al.*, 2019).

Dados que se obtêm da distância mínima entre árvores matrizes (MELO *et al.*, 2021); da biometria de frutos (MENDES *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2021); biometria de sementes por meio de processamento digital de imagens (FELIX *et al.*, 2020); e dos testes de porcentagem, velocidade e tempo médio de germinação das sementes, emergência (ZAMBIAZZI *et al.*, 2017); análise de crescimento e alocação de massa seca das plântulas (MARCOS FILHO, 2015), são eficientes quando se busca obter a divergência genética de uma espécie por traços fenotípicos.

Os estudos recentes que envolvem a genética da *Genipa americana* L. são conduzidos, em sua grande maioria, por meio da extração de DNA utilizando marcadores moleculares, sejam eles dominantes ou co-dominantes (RABBANI; SILVA-MANN; FERREIRA, 2012; MANOEL *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014; MANOEL *et al.*, 2015a; SILVA *et al.*, 2015; RUZZA *et al.*, 2018; MELO *et al.*, 2021). Ainda, quando as características fenotípicas são avaliadas, estão inseridas no contexto de entender sua plasticidade fenotípica diante de ambientes adversos (LIMA *et al.*, 2010; BRANDANI *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2021), sem extrair e analisar os valores genotípicos dessas populações.

Análises que tem como base os caracteres fenotípicos para o conhecimento da genética das espécies, são mais práticas de serem implementadas em viveiros florestais, do que análises com extração de DNA, pela facilidade ao acesso, mão de obra e capacitação da equipe. Dessa forma, recomenda-se a adoção de um protocolo mais viável de análise genética a partir dos caracteres fenotípicos de frutos e sementes de *G. americana*.

A necessidade desse tipo de trabalho se explica pela espécie ser classificada como secundária inicial, amplamente distribuída pelo Brasil, com grande capacidade de adaptação à diversas condições edafoclimáticas e bem recomendada para a restauração florestal (SANTANA *et al.*, 2012; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015; GOMES, 2020), portanto, pode ser indicada como uma das espécies disponíveis em viveiros de mudas nativas.

O objetivo desse estudo foi selecionar árvores matrizes para coleta de sementes e produção de mudas da espécie *Genipa americana* em área de Floresta Atlântica, por meio do estudo de parâmetros genéticos e divergência genética em frutos e sementes dessas matrizes, afim de indica-las como potenciais fontes de material genético em projetos de restauração de áreas degradadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de amostragem

O estudo foi conduzido na Reserva Biológica de Saltinho, de 548 hectares, situada em Tamandaré – Pernambuco, localizada a 78 km ao sul-sudoeste da capital Recife (Figura 1).

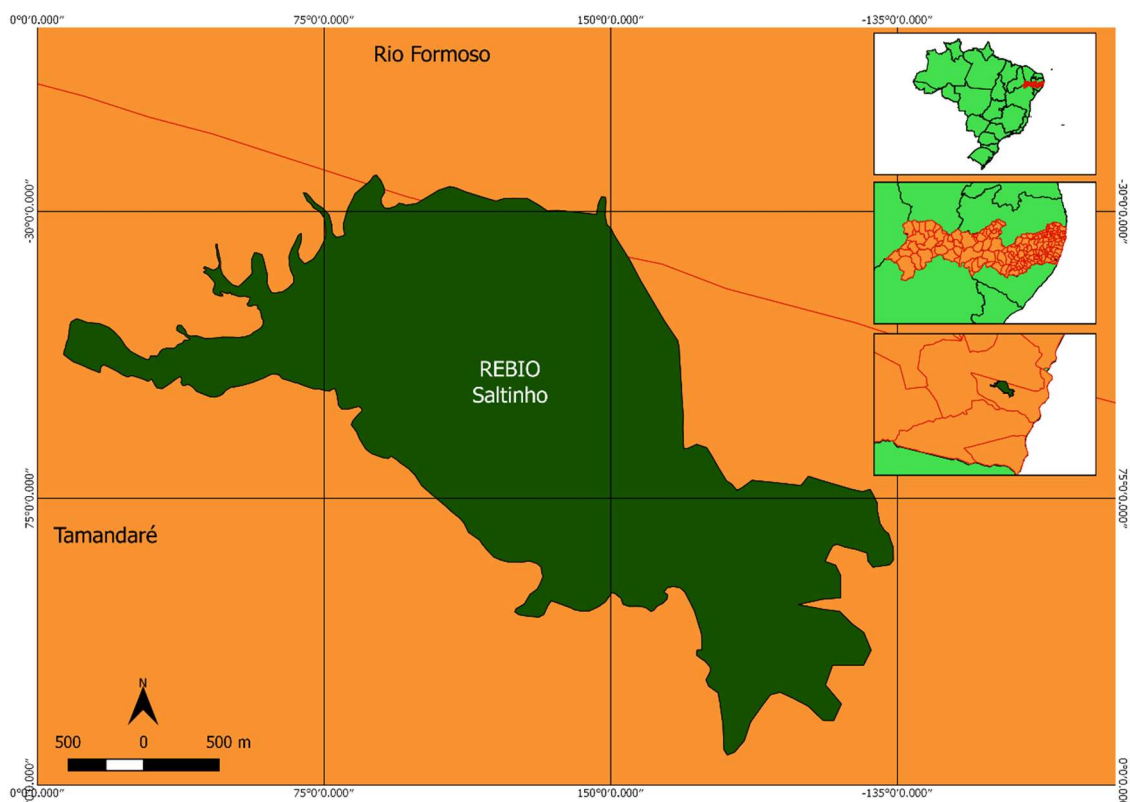


Figura 1. Mapa da Reserva Biológica de Saltinho, Tamandaré – PE, área da coleta de dados do estudo.

O clima da região é do tipo tropical úmido (As'), com precipitação média anual de 1.500 mm, temperatura média anual de 25 °C e altitude entre 40 a 120 m (CPRH, 2001; IBAMA, 2003). O relevo é irregular, variando de 5 a 154 m, o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, e a reserva está localizada dentro da Bacia Hidrográfica do Córrego do Saltinho (IBAMA, 2003). A vegetação é caracterizada como

Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991), com algumas formações secundárias advindas de plantações de espécies exóticas (ex.: *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp., *Araucaria heterophylla* Salisb.) e nativas (ex.: *Tapirira guianensis* Aubl., *Hevea brasiliensis* L.) (IBAMA, 2003).

O Plano de Manejo de Saltinho apontou a ocorrência de pelo menos 325 espécies vegetais pertencentes à 80 famílias botânicas e 205 gêneros (CPRH, 2011). O mesmo documento ainda afirma que a Reserva é uma fonte importante de material vegetal para restauração de áreas da região, destacando a importância da área para a Zona da Mata pernambucana.

2.2 Coleta de dados

A coleta do material foi realizada no mês de abril de 2021 por meio de um senso de *G. americana* na reserva, no qual foram obtidos os dados de circunferência a altura do peito (CAP = 1,30 m), altura total e presença ou ausência de frutos (SOLÍS-GUILLÉN *et al.*, 2017), bem como as coordenadas geográficas, de cada árvore encontrada, com auxílio de um GPS 64s Garmin, totalizando 28 indivíduos. Além disso, foram coletados os frutos maduros encontrados no chão das primeiras 11 árvores, tornando-as matrizes do estudo.

Os frutos foram transportados para o Laboratório de Análise de Sementes Florestais (LASF) do Departamento de Ciência Florestal (DCFL) da Universidade Federal da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), onde foram separados e identificados em lotes, por matrizes.

2.3 Espacialização dos indivíduos

As coordenadas geográficas foram utilizadas para fazer uma análise espacial dos indivíduos da *G. americana* dentro da reserva. Foi elaborado um mapa no *software* QGIS Desktop 2.18.3, agrupando os pontos das árvores de *G. americana* da reserva por meio da densidade de kernel (PARZEN, 1962; QGIS, 2015), para melhor visualização da distribuição da espécie dentro do fragmento.

2.4 Caracterização física e físico-química dos frutos

Após o beneficiamento dos frutos, com os verdes e os muito maduros descartados, os mesmos foram armazenados por 16 dias em geladeira, com a quantidade de frutos variando de 8 a 20 frutos por matriz, a depender da disponibilidade. Foram abertos para análise no dia da semeadura, com as sementes e a mucilagem sendo separadas com colher.

As análises físicas foram realizadas no LASF e as físico-químicas no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos do Departamento de Ciências Domésticas, na UFRPE.

Na Tabela 1, estão descritas as avaliações realizadas, seguindo as metodologias do Instituto Adolfo Lutz (IAL) (2008); Braga Filho et al. (2014); Associação Oficial de Químicos Analíticos (AOAC) (2016); Carvalho, Chaves e Alves (2017):

Tabela 1. Variáveis físicas e físico-químicas para caracterização de frutos de *Genipa americana* L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.

Tipo de análise	Variável	Instrumentos e reagentes
Físicas	Peso do fruto (g)	Balança de precisão
	Diâmetro longitudinal e transversal (mm)	Paquímetro
	Rendimento de polpa e casca (%)	Balança de precisão
	Espessura da casca e polpa (mm)	Paquímetro
	Quantidade de sementes por fruto	-
Físico-químicas	Sólidos solúveis (°Brix)	Refratômetro automático Reichert r2i300
	Acidez titulável (%)	Balança de precisão, NaOH 0,1M e fenolftaleína
	Potencial hidrogeniônico	Medidor de pH (pHmetro)

2.5 Caracterização biométrica das sementes

Foram separadas as sementes dos frutos e descartadas as sementes visivelmente danificadas. Depois, foram obtidas fotos de 6 até 25 sementes de cada fruto, selecionadas de forma aleatória de um total de 200 frutos, cabendo sementes de cinco frutos em cada foto, todos identificados por matriz. Para as fotos, foi utilizada a câmera de celular de iPhone 6s e uma câmara com controle de luz para evitar ao máximo a interferência de sombras nas imagens.

No *software* RStudio (R CORE TEAM, 2020), onde se realizou o processamento das fotos e extração de dados, foram utilizados os pacotes ExpImage (AZEVEDO, 2021) e EBImage (OLES *et al.*, 2020). As variáveis obtidas foram área (cm²), perímetro, raio médio, desvio padrão do raio, raio mínimo, raio máximo, eixo principal e excentricidade, todas em cm (Figura 2).

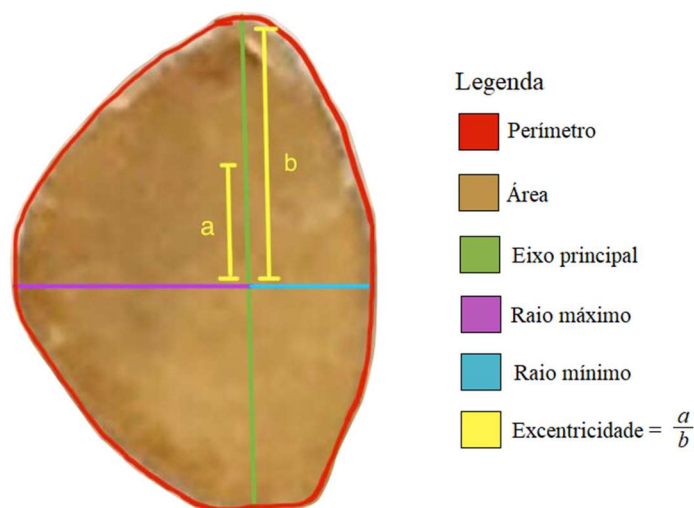


Figura 2. Representação das variáveis biométricas de sementes para caracterização de sementes de *Genipa americana* L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.

2.6 Análise da emergência das sementes

As mesmas sementes utilizadas para a caracterização biométrica, foram semeadas, cada vaso representando um fruto com todas as respectivas sementes, no viveiro do Departamento de Ciências Florestais da UFRPE. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente ao acaso, com cada um correspondendo a um fruto de uma matriz, totalizando 200 vasos. O substrato utilizado foi composto por 60% terra, 25% casca de arroz e 15% composto orgânico em vasos de 3 L. Os vasos foram mantidos dentro de uma casa de vegetação, apenas com irrigação manual diária.

As variáveis coletadas foram porcentagem de emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME) e velocidade média de emergência (VME). O processo de emergência foi acompanhado diariamente, a partir do primeiro dia, até a estabilização da taxa de emergência, totalizando um período de 110 dias. As sementes consideradas emergidas foram as que emitiram os cotilédones.

2.7 Análises estatísticas de parâmetros genéticos, divergência e seleção genética

Para os estudos de diversidade em frutos, sementes e emergência de plântulas foram obtidos os valores genotípicos e parâmetros genéticos com uso da metodologia de modelos mistos (RESENDE, 2002). Foram submetidos a um delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com teste de genótipos não aparentados, com as repetições variando de

8 a 20 frutos por matriz, e 6 a no máximo 25 sementes por fruto, a depender da disponibilidade de frutos/sementes aptos para as análises.

Por considerar os efeitos fixos e aleatórios do experimento, possibilitando o conhecimento do valor genotípico dos indivíduos sem a influência ambiental, o modelo utilizado foi o modelo 81 do *software* Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2016), sendo:

$$y = Xu + Zg + Wp + e$$

em que: y é o vetor de dados, u é o efeito da média geral (fixo), g é o vetor dos efeitos genotípicos (aleatórios), p é o vetor dos efeitos de progênies (aleatórios), e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

X , Z e W = matrizes de incidência para u , g e p , respectivamente.

Distribuições e estruturas de médias e variâncias:

$$E \begin{bmatrix} y \\ g \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xu \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad Var \begin{bmatrix} g \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{g} \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_p^2}{h_g^2}, \quad \lambda_2 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_p^2} = \frac{1 - h_g^2 - c_p^2}{c_p^2}$$

$$h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos}$$

genotípicos totais;

$$c_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_g^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2} = \text{coeficiente de determinação dos efeitos de progênies;}$$

$$\sigma_g^2 = \text{variância genotípica;}$$

$$\sigma_p^2 = \text{variância genotípica entre progênies;}$$

$$\sigma_e^2 = \text{variância residual;}$$

Estimadores de componentes de variância por REML via algoritmo EM:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - \hat{u}' X'y - \hat{g}' Z'y - \hat{p}' W'y]}{[N - r(x)]},$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}' \hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{22}]}{q},$$

$$\hat{\sigma}_p^2 = \frac{[\hat{p}' \hat{p} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{33}]}{s} \text{ em que:}$$

C^{22} e C^{33} advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$$

C = matriz dos coeficientes das equações de modelo misto;

tr = operador traço matricial;

r(x) = posto da matriz X;

N, q, s = número total de dados, número de árvores matrizes e número de progênies, respectivamente.

Com os valores genotípicos ($\mu + g$), foi obtida a correlação genética de Pearson entre as variáveis analisadas dos frutos, sementes e emergência plântulas e demais análises de divergência genética. Foi considerada como significativa a correlação genética de Pearson com $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

O teste da razão da máxima verossimilhança e Análise de Deviance determinou a significância dos efeitos aleatórios (g e p). As deviances foram obtidas conforme descrito por Resende (2007), utilizando-se o modelo com e sem os respectivos efeitos. Então, foi subtraída a deviance obtida no modelo completo do modelo sem o efeito, e comparada com o valor do Qui-quadrado (χ^2) com um grau de liberdade a 5 % de significância (3,84).

O estudo da divergência genética se deu por meio da análise de agrupamento pelo método de UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), com os valores genotípicos ($\mu + g$) das progênies para cada característica (frutos, sementes e emergência de plântulas), utilizando como medida de dissimilaridade a distância genética de Mahalanobis (MAHALANOBIS, 1936; LIMA, 2006), que é baseada tanto na média quanto na variância dos dados. Também foi feita a análise de componentes principais (PCA) (KASSAMBRA, 2017), afim de determinar a contribuição estatística de cada variável na composição da divergência genética (Tabela 2).

Tabela 2. Lista de variáveis para caracterização de frutos e sementes de *Genipa americana* L. provenientes da Reserva Biológica de Saltinho – PE.

Variável	Sigla
Área da semente (cm)	AreaS
Perímetro da semente (cm)	PerS
Raio médio da semente (cm)	RadMedS
Raio mínimo da semente (cm)	RadMinS
Raio máximo da semente (cm)	RadMaxS
Desvio padrão do raio da semente (cm)	RadSdS
Eixo principal da semente (cm)	EixoPrinS

Excentricidade da semente (cm)	ExcenS
Peso do fruto (g)	PesoF
Diâmetro longitudinal e transversal do fruto (mm)	DiLongF; DiTransF
Rendimento de polpa e casca (%)	RendCasPolF
Espessura da casca e polpa (mm)	EspCasPolF
Quantidade de sementes por fruto	QntSemF
Sólidos solúveis do fruto (°Brix)	SólSol
Acidez titulável do fruto (%)	ATT
Potencial hidrogeniônico do fruto	pH
Porcentagem de emergência (%)	E%
Índice de velocidade de emergência	IVE
Tempo médio de emergência	TME
Velocidade média de emergência	VME

Para obtenção dos componentes de variância, valores genotípicos, correlações genéticas e análise de agrupamento genético (UPGMA e distância genética de Mahalanobis), foi utilizado o *software* Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2016). A análise de componentes principais genéticos (PCA) e representação gráfica dos resultados foi realizada via *software* RStudio (R CORE TEAM, 2021) e auxílio dos pacotes ggplot2 (WICKHAM, 2016), corrplot (WEI, SIMKO, 2017) e factoextra (KASSAMBARA, MUNDT, 2020).

2.8 Índice de seleção de matrizes

O índice de seleção das matrizes foi criado com os valores genotípicos das matrizes nas variáveis escolhidas para o ranking e processado no *software* Selegen REML/BLUP (RESENDE, 2016). Foi realizado o índice de rank médio (RESENDE, 2016) adaptado de Mulamba e Mock (1978).

As variáveis que não foram significativas nos componentes de variância genética, tanto nos efeitos genotípicos totais (x^2h^2) quanto nos efeitos das matrizes (x^2c^2), foram descartadas do índice de seleção, sendo elas: DiLongF, CasPolF e TME.

Além disso, com base na matriz de correlação, as variáveis PerS, RadMedS, EixoPrinS, DiTransF, SemMucF e IVE também foram descartadas do índice, por serem mais que 80 % correlacionadas com as demais. Assim, restaram 11 variáveis para compor o índice, sendo: AreaS, ExcenS, PesoF, RendCasPolF, EspCasPolF, QntSemF, SólSol, pH, ATT, E% e VME. A classificação desse ranking se deu com as melhores matrizes

possuindo o maior valor para todas as variáveis, exceto para RendCasPolF, EspCasPolF e ATT, que foram considerados os menores valores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Espacialização dos indivíduos

Foram encontradas 28 árvores de *G. americana* na Reserva Biológica de Saltinho (Tabela 3), com o CAP mínimo de 17,5 cm, máximo de 268 cm e média de 112,2 cm, altura mínima de 6 m, máxima de 30 m e média de 15,8 m (Figura 2). Observou-se que 64,3 % das árvores apresentaram frutos e 35,7 % sem frutos, provavelmente devido à sua dioicia (BAWA *et al.*, 1985).

Tabela 3. Dados gerais dos indivíduos de *Genipa americana* L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

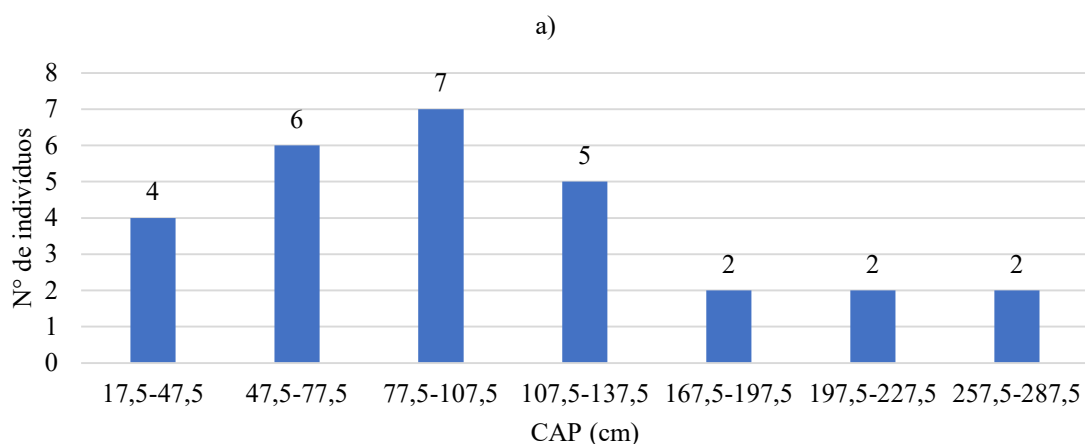
Indivíduo	CAP (cm)	Altura (m)	Nº frutos	Coord. X	Coord. Y	Fruto
1	194,0	13	26	0260594	9034276	Sim
2	265,0	21	30	0260782	9034279	Sim
3	113,0	15	29	0260867	9034015	Sim
4	112,0	30	18	0260257	9034774	Sim
5	214,0	27	20	0259752	9034992	Sim
6	168,0	25	24	0260009	9034259	Sim
7	133,0	21	25	0260832	9033901	Sim
8	77,5	16	26	0261035	9035126	Sim
9	106,5	16	19	0260911	9034377	Sim
10	86,0	14	8	0260880	9034167	Sim
11	75,3	7	24	0260857	9034273	Sim
12	69,0	14	-	0260654	9034168	Não
13	212,0	12	-	0260642	9034145	Sim
14	268,0	25	-	0260824	9034004	Não
15	93,0	15	-	0260833	9033878	Sim
16	105,5	13	-	0260871	9033793	Não
17	61,0	10	-	0260936	9033738	Não
18	57,5	10	-	0260933	9033743	Não
19	71,0	12	-	0260938	9033723	Sim
20	32,5	10	-	0260845	9034228	Não
21	17,5	6	-	0260848	9034230	Não
22	46,5	10	-	0260849	9034230	Sim
23	73,3	15	-	0260852	9034263	Não
24	32,5	12	-	0260856	9034290	Não
25	131,0	15	-	0259721	9035018	Não
26	100,0	18	-	0261075	9035103	Sim

27	92,0	16	-	0261039	9035124	Sim
28	133,0	25	-	0260148	9034176	Sim

A *G. americana*, sendo uma espécie dioica, não sofre autofecundação, pois todos os indivíduos são advindos de cruzamentos (MELO *et al.*, 2021). Ainda segundo os autores, a endogamia na população dessa espécie ocorrerá apenas pelo cruzamento entre indivíduos parentes. Ou seja, se a condição da presença ou ausência de frutos nas árvores se der pela sexualidade da planta, a população da Reserva Biológica de Saltinho tem potencial para sua manutenção e sobrevivência a longo prazo, caso não haja elevado nível de parentesco.

Além disso, existe a possibilidade de o tempo de maturação de cada árvore ser diferente, porque o tamanho e a massa das sementes podem variar entre plantas da mesma espécie, de acordo com as condições ambientais de determinado ano, ou até mesmo dentro da mesma planta (PIÑA-RODRIGUES; AGUIAR, 1993). Para a *G. americana*, o período de maturação dos frutos coincide com a época de maior precipitação pluviométrica da região (CRESTANA *et al.*, 1992). Os autores também afirmam que o período de desenvolvimento dos frutos de *G. americana* é de doze meses, havendo aumento gradativo dos parâmetros comprimento, diâmetro, peso e volume desses frutos.

As classes de CAP com maior quantidade de indivíduos foram as de 47,5 a 107,5 cm, com 46,4 % dos indivíduos. Já as alturas mais predominantes foram da classe de 11 a 15 m, com 39,2 % dos indivíduos (Figura 3).



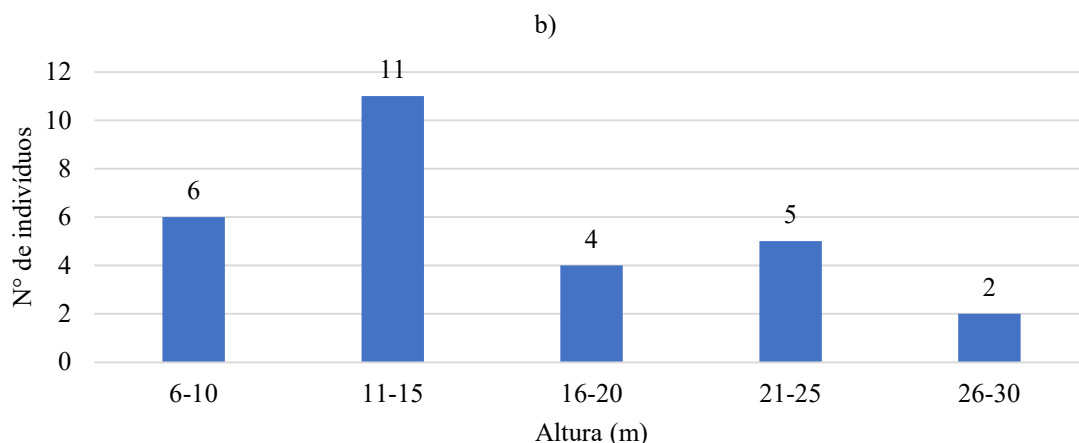


Figura 3. Distribuição dos indivíduos de *Genipa americana* L. em relação a a) circunferência a altura do peito (CAP); e b) altura na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

A altura é uma variável amplamente utilizada em estudos de procedência, pois pode ser medida facilmente em qualquer idade e é um forte reflexo da adaptação do genótipo (YING; YANCHUK, 2006). No entanto, a altura não traduz diretamente a mesma tendência para outras métricas de crescimento, como o volume de árvores, dependente do CAP. Por isso, há uma variação na relação das matrizes que possuem maior CAP e maior altura. Paiva *et al.* (2019), ao medir o incremento médio anual da espécie entre 2014 e 2019, observou que os indivíduos possuíram um aumento de 10,2 cm em altura e 0,97 cm de CAP nessa taxa, evidenciando que a altura possui uma maior expressão ao longo dos anos em comparação ao CAP.

Na espacialização dos indivíduos, é possível notar um agrupamento na borda do fragmento, que é atravessado pela rodovia PE-060 (Figuras 4). Ao longo da borda do fragmento que percorre a rodovia existem 16 árvores, mais seis árvores em estradas adjacentes, com largura menor que a PE-060, e seis árvores no interior do fragmento.



Figura 4. Localização dos indivíduos de *Genipa americana* L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

O crescimento e a sobrevivência de árvores em locais ou regiões específicas dependem de sua capacidade adaptativa e plasticidade (KIJOWSKA-OBERC *et al.*, 2020). A luminosidade é um dos principais fatores que definem o estabelecimento e sobrevivência de indivíduos arbóreos nas florestas tropicais (STERCK *et al.*, 2013). Como a presença de uma rodovia estadual caracteriza uma interrupção na área do fragmento florestal, criando uma clareira, as plantas recebem mais luz solar. Lima *et al.* (2010), Lima *et al.* (2010), testando o crescimento de *G. americana* em diferentes condições de luminosidade, demonstraram que a espécie possui maior taxa de crescimento relativo em ambientes de pleno sol com luminosidade natural.

Além da luminosidade, outro fator que possivelmente influencia essa concentração de indivíduos na Reserva é a hidrografia. A Bacia Hidrográfica do Córrego do Saltinho, com aproximadamente 22.634 hectares, nasce fora do fragmento florestal e o seu fluxo principal a atravessa, desaguando no rio Mamucabas, que também nasce próximo à Reserva (IBAMA, 2003). Existe a possibilidade de a criação da rodovia dentro do fragmento acarretar na interrupção da drenagem natural, a ponto de aumentar a

umidade nesse trecho, similar a ambientes ciliares que facilitam o estabelecimento dessa espécie (SALLA; JOSÉ; FARIA, 2016; BRANDANI *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2018).

Ainda, é possível que ações antrópicas dentro do fragmento, como desmatamento, fogo ou extração de madeira, podem influenciar nessa disposição dos indivíduos. Assim, considerando os aspectos de luminosidade, hidrografia e ações antrópicas, pode-se entender a maior concentração de indivíduos da espécie na borda do fragmento que cerca a rodovia ((Figura 5).



Figura 5. Mapa de calor (densidade de Kernel) dos indivíduos de *Genipa americana* L. na Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

A menor distância entre duas árvores dentro da reserva é de 1 m, e a maior é de 1777 m. Melo *et al.* (2021) determinaram que a distância ideal entre árvores de *G. americana* para que não haja parentesco entre elas é de 179 m, devido à dispersão do pólen que é de longa distância. Um total de 84,4 % das distâncias entre as árvores da Reserva Biológica de Saltinho é maior que 179 m e, portanto, satisfatório para diminuir a chance de cruzamento entre indivíduos parentes. Apenas 15,6 % de todas as distâncias entre todas as árvores estão abaixo desse valor mínimo ideal (Tabela 4).

Tabela 4. Distâncias (m) entre indivíduos de *Genipa americana* L. da Reserva Biológica de Salinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

Ind	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	0	188	378	601	1105	585	444	958	333	306	263	124	140	356	464	557	638	632	651	256	258	259	258	262	1146	957	958	457
2	188	0	277	722	1253	773	381	884	162	149	75	169	194	278	404	494	562	557	577	81	82	83	72	75	1293	875	883	642
3	378	277	0	974	1482	892	119	1124	365	153	258	262	260	44	141	222	285	280	301	214	216	216	248	275	1523	1108	1122	737
4	601	722	974	0	550	572	1045	854	765	870	782	724	737	956	1065	1157	1239	1233	1252	802	803	804	784	770	589	882	857	608
5	1105	1253	1482	550	0	777	1535	1290	1312	1398	1318	1222	1229	1458	1552	1640	1725	1719	1737	1334	1335	1336	1320	1308	40	1328	1294	907
6	585	773	892	572	777	0	897	1343	910	876	848	651	643	854	908	980	1063	1058	1073	837	840	841	843	848	812	1360	1345	162
7	444	381	119	1045	1535	897	0	1242	483	270	373	321	309	103	23	115	193	188	207	327	329	329	363	390	1575	1226	1240	737
8	958	884	1124	854	1290	1343	1242	0	759	971	871	1031	1057	1142	1264	1343	1392	1387	1406	918	915	915	882	855	1318	46	4	1300
9	333	162	365	765	1312	910	483	759	0	212	117	331	355	383	505	585	639	634	655	163	160	160	128	103	1352	744	758	789
10	306	149	153	870	1398	876	270	971	212	0	108	226	239	172	293	374	433	427	448	70	71	70	100	125	1438	956	970	732
11	263	75	258	782	1318	848	373	871	117	108	0	229	250	271	396	480	541	535	556	47	44	44	11	17	1358	858	870	716
12	124	169	262	724	1222	651	321	1031	331	226	229	0	26	236	341	433	514	508	528	200	204	205	220	236	1262	1025	1031	506
13	140	194	260	737	1229	643	309	1057	355	239	250	26	0	230	328	420	502	496	515	219	223	224	241	258	1269	1051	1056	495
14	356	278	44	956	1458	854	103	1142	383	172	271	236	230	0	126	216	289	283	303	225	227	227	261	288	1498	1127	1140	698
15	464	404	141	1065	1552	908	23	1264	505	293	396	341	328	126	0	93	174	168	187	350	352	352	385	413	1593	1249	1263	747
16	557	494	222	1157	1640	980	115	1343	585	374	480	433	420	216	93	0	85	80	97	436	438	438	470	497	1680	1326	1342	818
17	638	562	285	1239	1725	1063	193	1392	639	433	541	514	502	289	174	85	0	6	15	498	500	500	532	558	1765	1372	1390	902
18	632	557	280	1233	1719	1058	188	1387	634	427	535	508	496	283	168	80	6	0	21	493	494	494	526	552	1759	1367	1385	897
19	651	577	301	1252	1737	1073	207	1406	655	448	556	528	515	303	187	97	15	21	0	513	515	515	547	573	1777	1387	1405	911
20	256	81	214	802	1334	837	327	918	163	70	47	200	219	225	350	436	498	493	513	0	4	4	36	63	1374	905	917	699
21	258	82	216	803	1335	840	329	915	160	71	44	204	223	227	352	438	500	494	515	4	0	1	33	61	1375	902	914	702
22	259	83	216	804	1336	841	329	915	160	70	44	205	224	227	352	438	500	494	515	4	1	0	33	60	1376	902	914	703
23	258	72	248	784	1320	843	363	882	128	100	11	220	241	261	385	470	532	526	547	36	33	33	0	27	1360	869	881	709
24	262	75	275	770	1308	848	390	855	103	125	17	236	258	288	413	497	558	552	573	63	61	60	27	0	1348	842	854	717
25	1146	1293	1523	589	40	812	1575	1318	1352	1438	1358	1262	1269	1498	1593	1680	1765	1759	1777	1374	1375	1376	1360	1348	0	1357	1322	944
26	957	875	1108	882	1328	1360	1226	46	744	956	858	1025	1051	1127	1249	1326	1372	1367	1387	905	902	902	869	842	1357	0	42	1311
27	958	883	1122	857	1294	1345	1240	4	758	970	870	1031	1056	1140	1263	1342	1390	1385	1405	917	914	914	881	854	1322	42	0	1301
28	457	642	737	608	907	162	737	1300	789	732	716	506	495	698	747	818	902	897	911	699	702	703	709	717	944	1311	1301	0

A redução no tamanho das populações arbóreas, resultante do processo de fragmentação florestal, afeta o fluxo gênico e pode aumentar a taxa de cruzamentos entre indivíduos aparentados (YOUNG; BOYLE, 2000), assim como a estrutura genética espacial intrapopulacional e o parentesco, causando endogamia, nas gerações descendentes (CARVALHO *et al.*, 2010). Uma vez que o sistema de reprodução da planta determina o nível de coancestria e potencial endogamia nos descendentes (MORI *et al.*, 2013), é necessária que o número de árvores matrizes para coleta de material seja satisfatório. Por isso, a viabilidade genética evolutiva deve ser manejada pela recombinação de genótipos por meio de cruzamentos (MELO *et al.*, 2021).

3.2 Variáveis analisadas em frutos e sementes de *G. americana*

Nas variáveis biométricas das sementes, a matriz 6 obteve valores superiores em seis variáveis (AreaS, PerS, RadMedS, EixoPrinS, RadMinS e RadMaxS) (Tabela 5). Já nas variáveis morformétricas dos frutos, a matriz 1 obteve valores superiores em três variáveis (DiTransF, PesoF e SemMucF). As médias das variáveis químicas dos frutos e os índices de emergências não evidenciaram nenhuma matriz com valores superiores em mais de uma variável.

Tabela 5. Médias das variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de *Genipa americana* L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

Matriz	AreaS	PerS	RadMedS	EixoPrinS	ExcenS	RadSdS	RadMinS	RadMaxS
1	0,410	2,259	0,363	0,859	0,658	0,047	0,282	0,456
2	0,529	2,548	0,413	0,958	0,620	0,049	0,327	0,509
3	0,411	2,239	0,364	0,853	0,635	0,045	0,287	0,450
4	0,541	2,607	0,419	0,978	0,634	0,051	0,330	0,523
5	0,476	2,370	0,391	0,889	0,578	0,039	0,323	0,468
6	0,627	2,886	0,451	1,054	0,631	0,056	0,352	0,562
7	0,478	2,458	0,392	0,918	0,636	0,049	0,306	0,488
8	0,573	2,725	0,430	1,026	0,668	0,058	0,329	0,542
9	0,569	2,657	0,428	0,985	0,605	0,048	0,343	0,526
10	0,525	2,558	0,412	0,968	0,647	0,051	0,325	0,513
11	0,478	2,494	0,392	0,905	0,614	0,045	0,313	0,483
Matriz	DiTransF	DiLongF	PesoF	CasPolF	SemMucF	RendCasPolF	EspCasPolF	QntSemF
1	95,656	72,212	243,350	144,714	91,767	0,601	12,579	169,182
2	75,319	68,274	167,689	122,865	31,054	0,737	12,849	128,286
3	76,000	67,585	171,176	135,209	32,203	0,795	13,261	94,538
4	88,518	71,663	210,791	135,364	49,618	0,681	13,052	222,600
5	79,753	70,033	203,754	141,889	42,456	0,674	13,235	112,600

6	74,231	70,725	186,585	140,970	44,060	0,728	11,347	109,900
7	87,529	70,237	202,559	154,791	45,328	0,759	17,486	126,800
8	88,047	70,608	224,846	161,216	50,368	0,720	12,503	172,100
9	78,561	71,556	210,902	153,027	53,039	0,730	12,604	79,400
10	72,044	69,160	181,825	154,891	57,253	0,755	16,306	132,875
11	88,557	74,433	219,560	159,005	59,595	0,727	15,034	104,500
Matriz	SólSol	pH	ATT	E%	IVE	TME	VME	
1	10,047	3,757	1,273	60,053	0,496	31,961	0,029	
2	11,587	3,471	2,264	40,839	0,342	40,181	0,027	
3	12,621	3,458	1,706	53,335	0,448	39,033	0,028	
4	9,613	3,493	1,731	54,413	0,437	40,460	0,027	
5	10,313	3,429	2,047	25,033	0,258	43,295	0,025	
6	8,753	3,627	1,799	60,849	0,443	39,625	0,027	
7	10,687	3,505	1,368	54,188	0,416	38,519	0,029	
8	11,707	3,306	2,096	33,718	0,215	44,379	0,024	
9	11,238	3,430	1,288	31,816	0,271	39,093	0,027	
10	9,663	3,493	1,457	53,764	0,401	40,051	0,027	
11	8,325	3,505	1,457	47,600	0,389	32,480	0,032	

AreaS: área da semente; PerS: perímetro da semente; RadMedS: raio médio da semente; RadSdS: desvio padrão do raio da semente; RadMinS: raio mínimo da semente; RadMaxS: raio máximo da semente; EixoPrinS: eixo principal da semente; ExcenS: excentricidade da semente; DiTransF: diâmetro transversal do fruto; DiLongF: diâmetro longitudinal do fruto; PesoF: peso total do fruto; CasPolF: peso da casca e polpa do fruto; SemMucF: peso da semente e mucilagem do fruto; RendCasPolF: rendimento da casca e polpa do fruto; EspCasPolF: espessura da casca e polpa do fruto; QntSemF: quantidade de sementes por fruto; SólSol: sólidos solúveis; pH: potencial hidrogeniônico; ATT: acidez total titulável; E%: porcentagem de emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; VME: velocidade média de emergência.

Variáveis relacionadas à frutos e sementes podem variar entre plantas da mesma espécie, entre anos reprodutivos ou até na mesma planta (LOVATEL *et al.*, 2021). O tamanho das sementes é um dos fatores que influenciam na emergência das plântulas, por meio da quantidade de reservas presente na semente (PÁDUA *et al.*, 2010). Além disso, variáveis biométricas dos frutos também auxiliam no melhoramento vegetal de diversas espécies, quantificando a divergência fenotípica por meio de descritores quantitativos e qualitativos (ABUD *et al.*, 2018), também sendo possível extrair valores genotípicos desses atributos.

Diante disso, a caracterização da variabilidade genética dentro e entre populações arbóreas pode ser realizada por meio da biometria de frutos e sementes, também podendo ser relacionada com fatores ambientais, auxiliando programas de conservação e melhoramento genético de espécies (SILVEIRA *et al.*, 2019).

3.3 Parâmetros genéticos em frutos, sementes e plântulas de *G. americana*

Na Tabela 6 são apresentados os componentes de variância de todas as variáveis. Todos os caracteres possuíram significância para os efeitos totais (x^2h^2), ou seja, tiveram diferenças genéticas no geral, exceto DiLongF, CasPolF e TME. Já os caracteres que tiveram diferenças genéticas entre as matrizes (x^2c^2), foram AreaS, PerS, RadMedS, RadSdS, RadMinS, RadMaxS, EixoPrinS e SólSol.

Resende (2015) classifica a herdabilidade em: baixo ($< 0,15$), intermediário ($0,15$ a $0,50$) e alto ($\geq 0,50$). A variável com maior herdabilidade individual ajustada (h^2aj) para efeito de matrizes foi a quantidade de sementes por fruto (QntSemF) com $0,45$, bem como a herdabilidade individual no sentido amplo (h^2g), ou seja, dos efeitos genotípicos totais, sendo considerada intermediária.

Tabela 6. Componentes de variância das variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de *Genipa americana* L. oriundas da Reserva Biológica de Salinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

	AreaS	PerS	RadMedS	RadSdS	RadMinS	RadMaxS	EixoPrinS	ExcenS
Vg	0,005	0,038	0,001	0,000	0,000	0,001	0,004	0,001
Vparc	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ve	0,011	0,102	0,002	0,000	0,002	0,004	0,015	0,018
Vf	0,017	0,149	0,003	0,000	0,003	0,006	0,020	0,018
h²g	0,265±0,021	0,256±0,020	0,267±0,021	0,067±0,010	0,182±0,017	0,214±0,019	0,216±0,019	0,032±0,007
h²aj	0,283	0,271	0,285	0,067	0,191	0,221	0,224	0,033
c²parc	0,065	0,055	0,063	0,006	0,042	0,033	0,035	0,002
CVgi%	13,270	7,738	6,804	10,888	6,703	7,126	6,885	3,888
CVe%	7,797	4,400	3,945	8,727	4,235	3,871	3,765	4,301
Acurácia	0,950	0,950	0,950	0,937	0,948	0,949	0,949	0,921
Média	0,508	2,521	0,404	0,049	0,319	0,501	0,943	0,630
x²h²	1367,62*	1300,62*	1380,25*	282,64*	843,13*	1030,84*	1044,25*	128,79*
x²c²	162,96*	159,97*	166,38*	9,10*	93,04*	97,38*	100,32*	1,07 ^{ns}
	DiTransF	DiLongF	PesoF	CasPolF	SemMucF	RendCasPolF	EspCasPolF	QntSemF
Vg	52,991	0,952	413,394	78,233	243,298	0,002	2,848	1537,708
Vparc	0,631	2,363	17,735	25,449	2,693	0,000	0,032	11,756
Ve	130,815	75,126	3853,627	1675,734	402,951	0,007	8,465	1855,843
Vf	184,437	78,441	4284,755	1779,416	648,942	0,010	11,346	3405,307
h²g	0,287±0,094	0,012±0,019	0,096±0,055	0,044±0,038	0,375±0,110	0,257±0,091	0,251±0,090	0,451±0,176
h²aj	0,288	0,013	0,097	0,045	0,376	0,265	0,252	0,453
c²parc	0,003	0,030	0,004	0,014	0,004	0,031	0,003	0,003
CVgi%	8,845	1,383	10,047	6,070	30,748	6,927	12,376	29,929
CVe%	9,874	8,954	21,791	20,165	28,167	8,495	15,145	23,396
Acurácia	0,904	0,450	0,800	0,671	0,916	0,894	0,890	0,902
Média	82,303	70,571	202,367	145,708	50,729	0,718	13,636	131,024
x²h²	57,62*	0,41 ^{ns}	13,45*	3,82 ^{ns}	93,46*	51,68*	42,23*	41,29*
x²c²	0,02 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}

	SólSol	pH	ATT	E%	IVE	TME	VME
Vg	1,879	0,013	0,102	127,435	0,006	6,580	0,000
Vparc	0,570	0,000	0,000	1,837	0,000	0,274	0,000
Ve	3,004	0,028	0,157	686,622	0,058	126,763	0,000
Vf	5,452	0,041	0,259	815,895	0,065	133,617	0,000
h²g	0,345±0,134	0,324±0,123	0,392±0,143	0,156±0,079	0,097±0,065	0,049±0,046	0,066±0,053
h²aj	0,385	0,325	0,393	0,157	0,097	0,049	0,066
c²parc	0,104	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
CVgi%	13,111	3,274	18,866	23,497	20,875	6,584	6,744
CVe%	18,081	4,726	23,495	54,613	63,664	28,928	25,364
Acurária	0,899	0,888	0,903	0,832	0,759	0,644	0,696
Média	10,455	3,519	1,690	48,044	0,380	38,962	0,028
x²h²	38,05*	37,92*	49,88*	17,09*	7,31*	2,59 ^{ns}	4,16*
x²c²	5,50*	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}

AreaS: área da semente; PerS: perímetro da semente; RadMedS: raio médio da semente; RadSdS: desvio padrão do raio da semente; RadMinS: raio mínimo da semente; RadMaxS: raio máximo da semente; EixoPrinS: eixo principal da semente; ExcenS: excentricidade da semente; DiTransF: diâmetro transversal do fruto; DiLongF: diâmetro longitudinal do fruto; PesoF: peso total do fruto; CasPolF: peso da casca e polpa do fruto; SemMucF: peso da semente e mucilagem do fruto; RendCasPolF: rendimento da casca e polpa do fruto; EspCasPolF: espessura da casca e polpa do fruto; QntSemF: quantidade de sementes por fruto; SólSol: sólidos solúveis; pH: potencial hidrogeniônico; ATT: acidez total titulável; E%: porcentagem de emergência; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; VME: velocidade média de emergência; Vg: variância genotípica; Vparc: variância genotípica entre matrizes; Ve: variância residual; Vf: variância fenotípica individual; h²g: herdabilidade individual no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; h²aj: herdabilidade genotípica ajustada para os efeitos das matrizes; c²parc: coeficiente de determinação dos efeitos das matrizes; CVgi%: coeficiente de variação genotípica; CVe%: coeficiente de variação residual; x²h²: qui-quadrado obtido dos efeitos genotípicos totais; x²c²: qui-quadrado obtido dos efeitos das matrizes; *: significativo a 5%; ^{ns}: não significativo a 5%.

As variáveis que tiveram herdabilidade individual intermediária foram: biometria de sementes – área (AreaS), perímetro (PerS), raio médio (RadMedS), raio mínimo (RadMinS), raio máximo (RadMaxS), eixo principal (EixoPrinS); biometria dos frutos – diâmetro transversal (DiTransF), peso da sementes com mucilagem (SemMucF), rendimento de casca e polpa (RendCasPolF), espessura de casca e polpa (EspCasPolF), quantidade de sementes por fruto (QntSemF); química dos frutos – sólidos solúveis (SólSol), potencial hidrogeniônico (pH), acidez total titulável (ATT); índices de emergência – porcentagem de emergência (E%).

Já as que tiveram herdabilidade individual baixa foram: biometria de sementes – excentricidade (ExcenS), desvio padrão do raio (RadSdS); biometria dos frutos – diâmetro longitudinal (DiLongF), peso total do fruto (PesoF), peso da casca e polpa (CasPolF); índices de emergência – índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME) e velocidade média de emergência (VME).

Os níveis baixos ou intermediários de herdabilidade se dão porque as variâncias genotípicas (Vg) são inferiores as variâncias residuais (Ve), em todas as variáveis. Ou seja, o efeito do ambiente (variância residual) foi predominante em relação ao efeito

genotípico das progênies. A herdabilidade é o parâmetro que determina traços fenotípicos que representem bem o ganho genético das progênies, ou seja, o quanto da plasticidade fenotípica que é consequência do genótipo, e que sejam confiáveis para se utilizar na seleção genética (MORAES *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2018).

Os altos valores de acurácia observados indicam que o experimento foi adequado e confiável para a avaliação das características (RESENDE; DUARTE, 2007) e extração de seus valores genotípicos, exceto para as variáveis DiLongF, CasPolF, TME e VME, que obtiveram acurácia abaixo de 70 %. Os coeficientes de determinação dos efeitos das matrizes (c^2_{parc}) foram baixos, pois há uma grande interação entre os ambientes em que cada uma está inserida (área, solo, fonte de pólen, etc.), resultando em uma alta variabilidade genética das progênies (SANTOS, 2021).

As variáveis com menor c^2_{parc} foram RadSdS, ExcenS, DiTransF, PesoF, SemMucF, EspCasPolF, QntSemF, pH, ATT, E%, IVE, TME e VME, com valores de c^2_{parc} menores que 0,01. Esse resultado é esperado, pois em espécies alógamas é comum que a diversidade genética seja maior dentro do que entre populações, ou no caso, matrizes (GOLUNSKI *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2021).

De acordo com Sebbenn *et al.* (1998), um coeficiente de variação genética (CVgi%) maior que 7,0 % é considerado alto. As variáveis RadMedS, RadMinS, EixoPrinS, ExcenS, DiLongF, CasPolF, RendCasPolF, pH, TME e VME possuem baixo CVgi% e as variáveis AreaS, PerS, RadSdS, RadMaxS, DiTransF, PesoF, SemMucF, EspCasPolF, QntSemF, SólSol, ATT, E% e IVE possuem alto CVgi%. Os maiores valores foram 30,7%, 29,9% e 23,4% para as variáveis SemMucF, QntSemF e E%, respectivamente. Assim, baseado no coeficiente de variação genética, todas as variáveis de biometria de sementes, germinação e crescimento inicial de plântulas podem ser utilizadas como indicativos de sucesso na seleção de materiais genéticos (LOVATEL *et al.*, 2021)

A biometria das sementes é um critério eficiente para verificar a divergência genética entre indivíduos (LOVATEL *et al.*, 2021). Deve-se notar também que o coeficiente de herdabilidade no sentido restrito reflete o quanto da variação fenotípica observada em um caráter quantitativo é hereditária devido aos efeitos de genes aditivos, transferidos de indivíduos parentais para seus descendentes (COSTA *et al.*, 2010), que devido não possuímos informações de estrutura de família neste trabalho, não pode ser calculado.

3.4 Análise multivariada em frutos, sementes e plântulas de *G. americana*

Na matriz de correlação das variáveis, a correlação de ATT foi baixa e negativa com o pH (-0,65), demonstrando baixa influência da ATT no pH (Figura 6). Já RendCasPolF teve correlação baixa e negativa com as variáveis DiTransF, PesoF, SemMucF e QntSemF (-0,64, -0,72, -0,73 e -0,58, respectivamente), indicando que o rendimento da casca e polpa dos frutos de *G. americana* é inversamente proporcional a essas quatro variáveis relacionadas ao fruto.

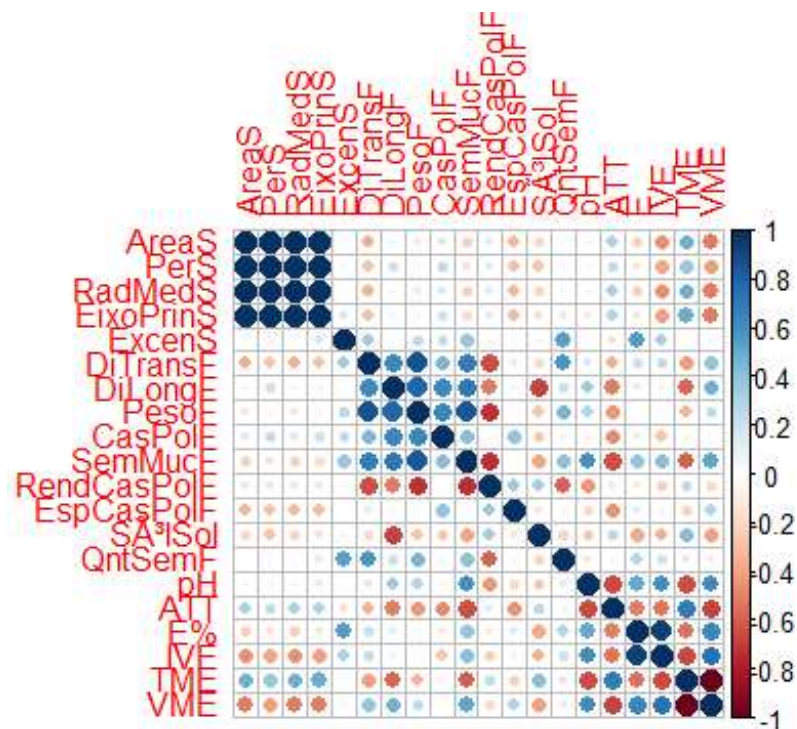


Figura 6. Matriz de correlação genética entre as variáveis de caracterização variáveis biométricas de sementes e frutos, variáveis químicas de frutos e índices de emergência de plântulas de *Genipa americana* L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

Na análise de agrupamento pelo método de UPGMA, observa-se a presença de quatro grupos de matrizes com similaridade genética a partir dos valores genotípicos, indicando alta variabilidade genética, sendo eles: grupo 1: matrizes 11, 5 e 7; grupo 2: matrizes 1 e 3; grupo 3: matriz 6; e grupo 4: matrizes 8, 9, 2, 4 e 10 (Figura 7).

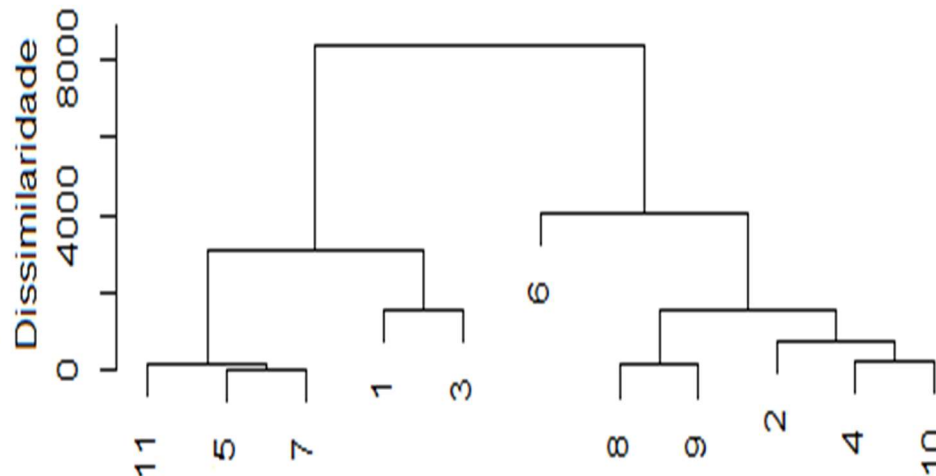


Figura 7. Dendrograma de dissimilaridade genética baseado na distância da Mahalanobis de valores genotípicos padronizados pelo método UPGMA entre 11 matrizes de *Genipa americana* da Reserva Biológica de Saltinho – Tamandaré, PE.

Na Figura 8 é possível verificar, pela análise de componentes principais (PCA), a contribuição de cada variável para explicar a dissimilaridade entre as matrizes. O primeiro componente principal (CP1) explica 35,9 % dos dados; o segundo (CP2) 21,8 % e o terceiro (CP3) 12,7 %, totalizando 70,4 %. No CP1, as variáveis com contribuição ≥ 5 % foram TME, VME, SemMucF, ATT, IVE, DiTransF, PesoF, AreaS, RadMedS, pH e EM; já no CP2 foram PerS, EixoPrinS, RadMedS, AreaS, DiLongF, PesoF, CasPolF e SólSol.

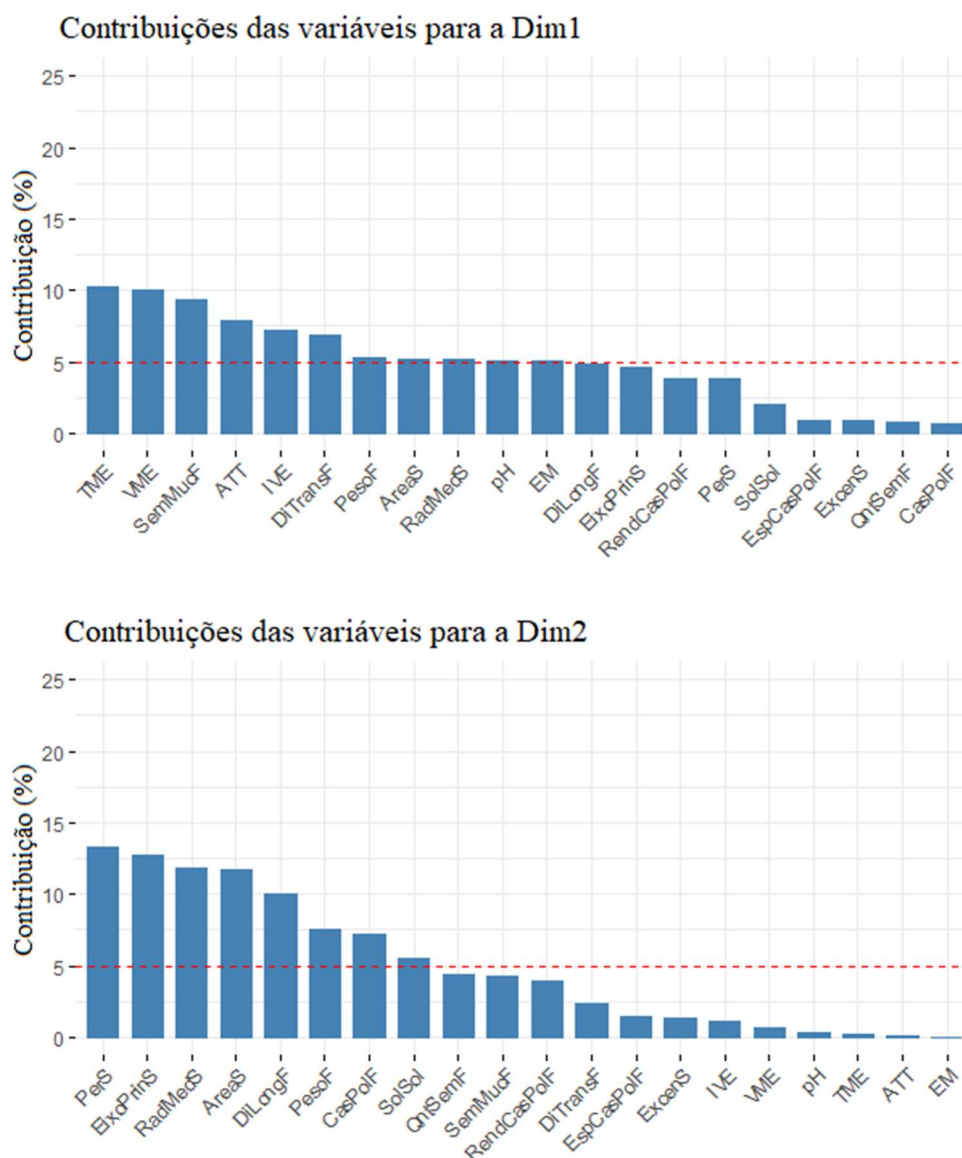


Figura 8. Contribuição das variáveis nos dois principais componentes para a dissimilaridade genética de *Genipa americana* L.

Na Figura 9, as variáveis biométricas (AreaS, PerS, EixoPrinS e RadMedS) se relacionam com as variáveis ATT, TME, RendCasPolF e SólSol. Já a maioria das variáveis morfométricas dos frutos (PesoF, DiLongF, DiTransF, SemMucF, CasPolF, QntSemF e EspCasPol) se relacionam com as variáveis pH, EM VME e IVE.

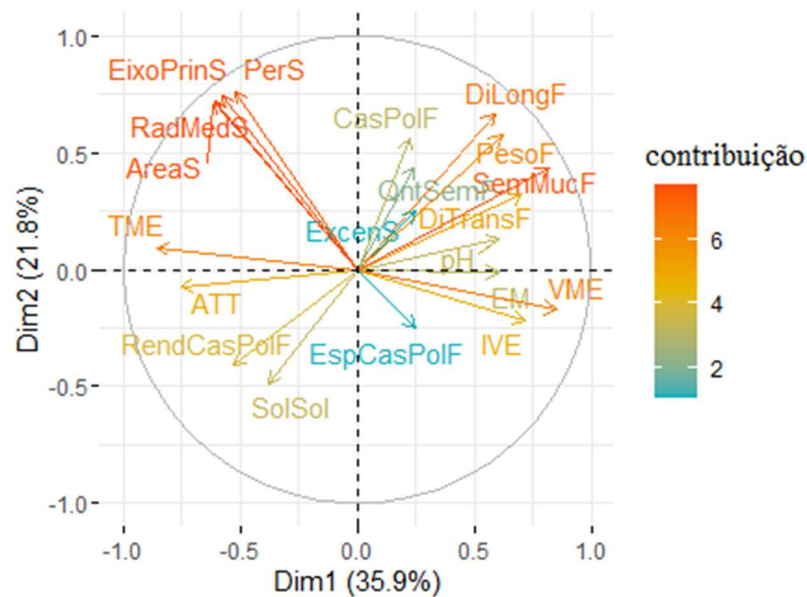


Figura 9. Correlação das variáveis nos componentes principais que determinam a dissimilaridade genética de *Genipa americana* L.

Observando a Figura 10, é possível afirmar que todas as variáveis contribuem na explicação da dissimilaridade genética entre as matrizes. A matriz 4 tem valores maiores para CasPolF, QntSemF, ExcenS; a matriz 11 tem valores maiores para EM (E%) e pH; a matriz 7 tem valores maiores para EspCasPolF, a matriz 10 para TME e ATT, a matriz 6 e 9 para RadMinS, RadMaxS, RadMedS e SdRadS; a matriz 5 para RendCasPol e SólSol. Enquanto isso, as variáveis DiLongF, PesoF, SemMucF, DiTransF possuem valores maiores entre as matrizes 4 e 11; as variáveis VME e IVE possuem valores maiores entre as matrizes 11 e 7.

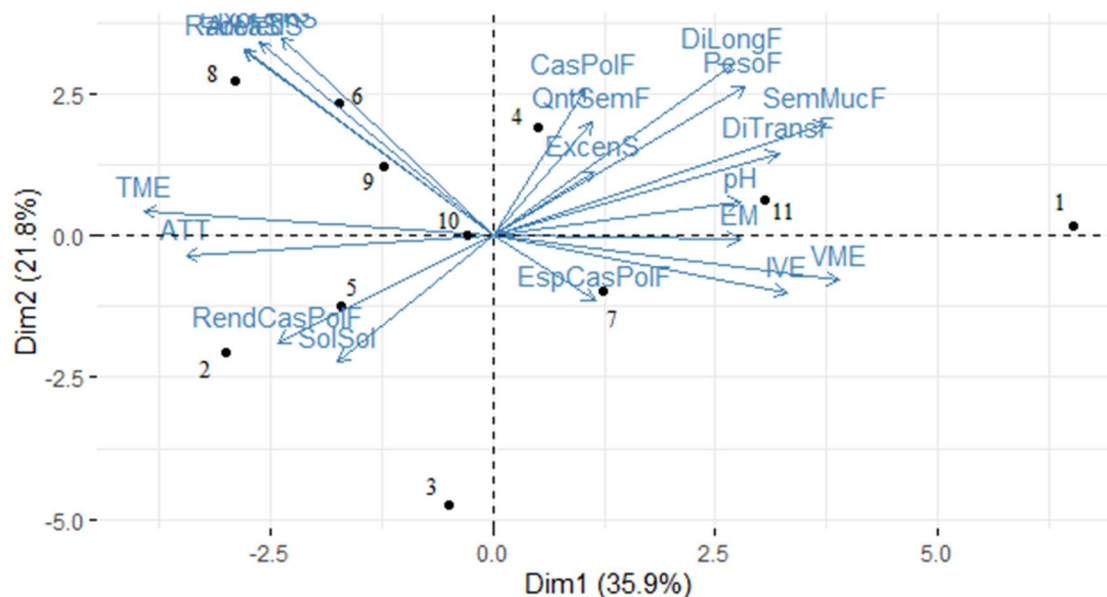


Figura 10. Correlação das variáveis com as matrizes nos componentes principais que determinam a dissimilaridade genética de *Genipa americana* L.

3.5 Índice de seleção de matrizes de *G. americana*

As matrizes 1, 4 e 6 foram as que obtiveram melhores ranques médios em relação aos genótipos, respectivamente (Tabela 7). Isso significa que são as melhores genitoras em relação às variáveis biométricas, morfológicas e químicas de frutos e sementes. Essas três matrizes possuem uma distância média de 585,0 m entre elas, e todas estão presentes no interior do fragmento. Já as matrizes com pior desempenho foram a 5, 2 e 3, respectivamente. Essas três matrizes possuem uma distância média de 1.003,6 m entre elas.

Tabela 7. Ordenamento das 11 matrizes de *Genipa americana* L. oriundas da Reserva Biológica de Saltinho, em Tamandaré – PE, Brasil.

Matriz	AreaS	ExcenS	PesoF	RendCasPolF	EspCasPolF	QntSemF	SólSol	pH	ATT	E%	VME	Ranking
1	11	2	1	1	3	3	6	1	1	1	2	1
4	4	6	5	2	6	1	9	7	7	3	8	2
6	1	7	9	5	1	8	10	3	8	2	5	3
8	3	1	2	4	2	2	4	11	10	9	11	4
7	8	4	7	10	11	5	5	5	2	4	3	5
9	2	10	4	7	4	11	2	2	3	10	9	6
11	7	9	3	6	9	9	11	4	4	7	1	7
10	6	3	8	9	10	4	8	6	5	6	7	8
3	10	5	10	11	7	10	1	9	6	5	4	9
2	5	8	11	8	5	6	3	8	11	8	6	10
5	9	11	6	3	8	7	7	10	9	11	10	11

AreaS: área da semente; ExcenS: excentricidade da semente; PesoF: peso total do fruto; RendCasPolF: rendimento da casca e polpa do fruto; EspCasPolF: espessura da casca e polpa do fruto; QntSemF: quantidade de sementes por fruto; SólSol: sólidos solúveis; pH: potencial hidrogeniônico; ATT: acidez total titulável; E%: porcentagem de emergência; VME: velocidade média de emergência.

A matriz 1 tem melhores caracteres relacionados aos frutos como peso, pH, ATT, além da emergência das sementes. Resgatando os valores das correlações das variáveis na Figura 6, o peso dos frutos (PesoF) está altamente correlacionado (0,84) com o peso das sementes com a mucilagem (SemMucF), assim como a E% está altamente correlacionada (0,93) com o IVE. Já o pH e a ATT não possuem correlação significativa, com pelo menos mais de 70 % de correlação positiva ou negativa, com nenhum outro caractere.

A coleta de material reprodutivo de matrizes com melhores taxas de emergência ou características atrativas dos frutos ajuda no aprimoramento genético dos projetos de restauração florestal, pois a qualidade genética das fontes de material é essencial para o estabelecimento o crescimento rápido e sustentabilidade das populações arbóreas (JANSSON *et al.*, 2016; MAZHULA *et al.*, 2021). Kavaliauskas *et al.* (2021) recomendam que a avaliação a coleta de sementes dependa de atributos como número de indivíduos viáveis/reprodutivos, CAP e altura, e também destacam a importância da seleção de fontes de material com base nas características fenotípicas e critérios de diversidade genética.

Ainda, Kijowska-Oberc *et al.* (2020) trazem à tona a questão da conservação adequada da reserva de sementes em bancos genéticos, já que a plasticidade fenotípica tem um papel importante na adaptação das plantas às mudanças ambientais. Reservas com maior diversidade genética, com populações desenvolvidas em diferentes locais, têm mais chance de sobreviver sob novas condições climáticas. Dada a importância da seleção de genótipos e o rápido desenvolvimento da tecnologia de fenotipagem, torna-se cada vez mais importante saber como os traços fenotípicos adicionais podem melhorar a precisão da previsão para uma característica-alvo (AROUISSE *et al.*, 2021).

Entretanto, como os projetos de restauração florestal raramente consideram a diversidade genética associada à qualidade de sementes para sua condução, existe falta de demanda de mercado por espécies nativas que satisfaçam essas necessidades. Assim, é fundamental expandir o conhecimento sobre a diversidade de espécies nativas de sementes de alta qualidade (ATKINSON *et al.*, 2021).

A população de *G. americana* da Reserva Biológica de Saltinho é uma boa fonte de material reprodutivo da espécie, visto que as matrizes 1, 4 e 6, respectivamente, foram geneticamente satisfatórias para serem designadas a esse fim.

Cabe ressaltar que não é recomendado a seleção de apenas três matrizes para um projeto de restauração ou conservação com espécies alógamas e dioicas. Considerando as pressuposições de Nunes (2021), baseadas em uma média de 441 sementes e variância de 1.458, este trabalho tem um tamanho efetivo populacional de 12 e uma endogamia potencial para o projeto de restauração de 4,16 %. Para isso ocorrer, é necessário no projeto de restauração a formação de mudas de todas essas sementes, implantação e condução, sem que haja nenhuma mortalidade.

Melo *et al.* (2021) encontraram um baixo tamanho efetivo populacional para *G. americana* de 2,69 e 3,27 em uma população natural (NP) de Sergipe, e em teste de progênies (PT), respectivamente, devido a alta taxa de cruzamento entre árvores relacionadas. O número de alelos para ambas as populações variou entre 8 e 23, com total 96 alelos e média de 13,7. Desses, 19 alelos eram privados da população NP e 15 da população PT. Por isso, a quantidade de árvores matrizes necessárias para coleta foi de 56 em NP e 46 em PT. A partir disso, os autores recomendam que, para maximizar o tamanho efetivo populacional da população parental de *G. americana* para produção de descendentes, deve-se manter o mesmo número de árvores macho e fêmea de cada progênie.

Manoel *et al.* (2015b) obtiveram uma média de 2,5 para o tamanho populacional efetivo, e um número médio de alelos de 23,5, em uma população de *G. americana* em São Paulo. Nesse trabalho, foi recomendado que se colete sementes de, pelo menos, 60 árvores matrizes. Para a conservação *ex situ* e restauração florestal, a ancestralidade deve ser reduzida e a variância efetiva da amostra aumentada, e a coleta de sementes em várias árvores auxilia a alcançar esses parâmetros.

É aconselhável que haja mais áreas a serem coletadas da espécie, aplicando a mesma metodologia de seleção deste trabalho. Assim, aumenta-se o tamanho efetivo da população, diminui-se a endogamia e busca-se uma ampla divergência genética de caracteres de frutos, sementes e emergência de plântulas. Os projetos de restauração necessitam de maior possibilidade de sucesso com os processos evolutivos da espécie. A metodologia adotada é de fácil implementação em viveiros de mudas nativas, servindo de incentivo para a consideração do aspecto genético na produção de mudas nativas para restauração florestal.

4. CONCLUSÃO

A localização das árvores na Reserva Biológica de Saltinho é definida, provavelmente, pela luminosidade, fazendo com que a maioria dos indivíduos se concentrem perto de uma clareira produzida pela construção de uma rodovia dentro do fragmento. Essa condição faz com que a distância entre as árvores diminua, e a chance de parentesco entre as matrizes e suas progênes seja maior. Porém, para confirmar essa afirmação, ainda são necessários mais estudos *in locu*.

Entretanto, por meio da análise dos parâmetros genéticos, foi possível definir que há maior divergência genética entre progênes do que entre matrizes, resultado esperado em espécies alógamas. Além disso, houve uma grande influência do ambiente nos atributos fenotípicos, indicando que cada localização de cada indivíduo dentro da reserva é importante para determinar a plasticidade fenotípica da espécie.

Portanto, por meio do índice de seleção de matrizes, as que servirão como melhores fontes de material genético na Reserva são as matrizes 1, 4 e 6, respectivamente, que estão em diferentes grupos na análise de agrupamento pelo método de UPGMA, lembrando sempre que é necessário considerar o tamanho efetivo populacional e a endogamia potencial. Essas matrizes estiveram numa melhor colocação no ranking na maioria das variáveis, considerando sua divergência genética. Por fim, a Reserva Biológica de Saltinho é uma boa fonte de material genético/reprodutivo para a espécie *G. americana* para fins de restauração florestal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, H. F.; ARAUJO, R. F.; PINTO, C. M. F.; ARAUJO, E. F.; ARAUJO, A. V.; SANTOS, J. A. Caracterização morfométrica dos frutos de pimentas malagueta e biquinho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 29-39, 2018. <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i2.478>
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). **Diagnóstico socioambiental: Litoral sul de Pernambuco**. Recife, 2001.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (CPRH). **Área de Proteção Ambiental de Guadalupe - ENCARTE 3: Análise da Unidade de Conservação**. Recife, 2011.
- AOAC, A. of O. A. C. **Official methods of analysis of AOAC international**. 20. Rockville, 2016.
- AROUISSE, B.; THEEUWEN, T. P. J. M.; VAN EEUWIJK, F. A.; KRUIJER, W. Improving Genomic Prediction Using High-Dimensional Secondary Phenotypes. **Frontiers in Genetics**, v. 12, p. 715, 2021. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.667358>
- ATKINSON, R. J.; THOMAS, E.; ROSCIOLI, F.; CORNELIUS, J. P.; ZAMORA-CRISTALES, R.; CHUAIRE, M. F.; ALCÁZAR, C.; MESÉN, F.; LOPEZ, H.; IPINZA,

R.; DONOSO, P. J.; GALLO, L.; NIETO, V.; UGARTE, J.; SÁENZ-ROMERO, C.; FREMOUT, T.; JALONEN, R.; GAISBERGER, H.; VINCETI, B.; VALETTE, M.; BOSSHARD, E.; EKUÉ, M.; GUERRA, G. W.; KETTLE, C. Seeding Resilient Restoration: An Indicator System for the Analysis of Tree Seed Systems. **Diversity**, v. 13, n. 8, p. 367, 2021. <https://doi.org/10.3390/d13080367>

AZEVEDO, A. M. **ExpImage-package: ExpImage: Experimental Image Analysis Tools in ExpImage: Tool For Analysis of Images in Experiments**. 2021.

BAWA, K. S.; BULLOCK, S. H.; PERRY, D. R.; COVILLE, R. E.; GRAYUM, M. H. Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. II. Pollination systems. **American Journal of Botany**, v. 72, n. 3, p. 346–356, 1985. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1985.tb05358.x>

BERLIN, M.; JANSSON, G.; HÖGBERG, K.-A. Genotype by environment interaction in the southern Swedish breeding population of *Picea abies* using new climatic indices. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 2, p. 112–121, 2015. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.978889>

BRAGA FILHO, J. R.; NAVES, R. V.; CHAVES, L. J.; PIRES, L. L.; MAZON, L. T. Caracterização física e físico-química de frutos de araticum (*Annona crassiflora* Mart.). **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 16–24, 2014.

BRANDANI, J. Z.; JUNGLOS, M. S.; SANTIAGO, E. F.; SCALON, S. de P. Q.; MUSSURY, R. M. Are seeds of *Genipa americana* L. (Rubiaceae) tolerance to water submersion? **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 20170764, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.170764>

CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de identificação de espécies-chave para a restauração florestal na região de Alto Teles Pires, Mato Grosso**. São Paulo, 2015.

CARVALHO, A. C. M.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, S. M. B.; MORAES, M. L. T.; STRANGHETTI, V.; ALZATE-MARIN, A. L.; SEBBENN, A. M. Diversidade genética, endogamia e fluxo gênico em pequena população fragmentada de *Copaifera langsdorffii*. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 4, p. 599-606, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042010000400008>

CARVALHO, A. V.; CHAVES, R. P. F.; ALVES, R. M. **Caracterização física e físico-química de frutos em matrizes de cajazeira no Estado do Pará**. Belém, 2017.

CORREIA, L. A. da S.; FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. dos S.; FERRARI, C. dos S.; PACHECO, M. V. Morphometric descriptors and physiological seed quality for selecting *Aspidosperma pyrifolium* Mart. matrix trees. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 751–759, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n319rc>

COSTA, N. C. F.; STEDILLE, L. I. B.; LAUTERJUNG, M. B.; MONTAGNA, T.; CANDIDO-RIBEIRO, R.; BERNARDI, A. P.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. dos; NODARI, R. O. Spatiotemporal variation in mating system and genetic diversity of *Araucaria angustifolia*: Implications for conservation and seed collection. **Forest Ecology and Management**, v. 481, p. 118716, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118716>

COSTA, R. B.; RESENDE, M. D. V.; GONÇALVES, P. de S.; ROA, R. A. R.; FEITOSA, K. C. de O. Predição de parâmetros e valores genéticos para caracteres de

- crescimento e produção de látex em progênies de seringueira. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 49–56, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100007>
- CRESTANA, C. de S. M.; BATISTA, E. A.; MARIANO, G.; KAGEYAMA, P. Y. Fenologia da Frutificação de *Genipa Americana* L (Rubiaceae) em Mata Ciliar do Rio Moji Guaçu, SP. **IPEF**, v. 45, p. 31–34, 1992.
- FELIX, F. C.; MEDEIROS, J. A. D.; FERRARI, C. dos S.; VIEIRA, F. de A.; PACHECO, M. V. Biometry of *Pityrocarpa moniliformis* seeds using digital imaging: Implications for studies of genetic divergence. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, p. e6128, 2020. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i1a6128>
- GOLUNSKI, C. M.; MIOTTO, S. P. S.; JUNIOR, C. V.; CORAZZA, T.; MIELNICZKI-PEREIRA, A. A.; MOSSI, A. J.; BUDKE, J. C.; CANSIAN, R. L. Diversidade e estrutura genética em *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Lauraceae) no sul do Brasil. **Perspectiva**, v. 39, n. 145, p. 41–52, 2015.
- GOMES, M. **Flora do Brasil - *Genipa americana* L.** 2020.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** Brasília, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Resumo executivo do plano de manejo da Reserva Biológica de Saltinho.** Brasília, 2003.
- JANSSON, G.; HANSEN, J. K.; HAAPANEN, M.; KVAALLEN, H.; STEFFENREM, A. The genetic and economic gains from forest tree breeding programmes in Scandinavia and Finland. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 32, n. 4, p. 273–286, 2016. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1242770>
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses.** 2020.
- KASSAMBRA, A. **Practical Guide to Principal Component Methods in R.** 1. ed. 2017. E-book.
- KAVALIAUSKAS, D.; ŠEHO, M.; BAIER, R.; FUSSI, B. Genetic variability to assist in the delineation of provenance regions and selection of seed stands and gene conservation units of wild service tree (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) in southern Germany. **European Journal of Forest Research**, v. 140, n. 3, p. 551–565, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01352-x>
- KIJOWSKA-OBERC, J.; STASZAK, A. M.; KAMIŃSKI, J.; RATAJCZAK, E. Adaptation of Forest Trees to Rapidly Changing Climate. **Forests**, v. 11, n. 2, p. 123, 2020. <https://doi.org/10.3390/f11020123>
- LIMA, E. L. **Álgebra linear.** 2006.
- LIMA, M. A. O.; MIELKE, M. S.; LAVINSKY, A. O.; FRANÇA, S.; ALMEIDA, A.-A. F.; GOMES, F. P. Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 527–534, 2010.
- LOVATEL, Q. C.; NAVROSKI, M. C.; GERBER, T. R.; OLIVEIRA, L. M. de; PEREIRA, M. de O.; SILVEIRA, M. F. Genetic Variability in Juvenile Characters of Progenies of *Apuleia leiocarpa*. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 547–556, 2021. <https://doi.org/10.5380/ufv.v51i3.69454>

- MAHALANOBIS, P. C. **On the generalized distance in statistics**. In: NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCE OF INDIA. p. 49–55. 1936.
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; BARRETO, M. A.; MORAES, M. L. T.; SOUZA, A. P.; SEBBENN, A. M. Development and characterization of 32 microsatellite loci in *Genipa americana* (Rubiaceae). **Applications in Plant Sciences**, v. 2, n. 3, p. 1300084, 2014. <https://dx.doi.org/10.3732%2Fapps.1300084>
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; TAMBARUSSI, E. V.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Mendelian inheritance, genetic linkage, and genotypic disequilibrium at microsatellite loci in *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8161–8169, 2015 a. <http://dx.doi.org/10.4238/2015.July.27.4>
- MANOEL, R. O.; FREITAS, M. L. M.; JÚNIRO, E. F.; ALVES, P. F.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Individual, fruit, and annual variation in correlated mating in a *Genipa americana* population. **Silvae Genetica**, v. 64, n. 3, p. 108–116, 2015 b. <http://dx.doi.org/10.1515/sg-2015-0010>
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015.
- MAZHULA, O.; FUCHYLO, Y.; HAYDA, Y.; KHARYTONOV, M.; MATKOVCKA, S. Progeny testing of *Pinus sylvestris* L. of seed orchard in different environmental conditions. **Ecological Questions**, v. 33, n. 1, p. 1–14, 2021. <https://doi.org/10.12775/EQ.2022.002>
- MELO, M. F. de V.; SEBBENN, A. M.; ROSSINI, B. C.; MUNIZ, A. V. C. da S.; RODRIGUES, C. J.; MARINO, C. L.; MORAES, M. L. T. Estimating genetic diversity, mating system and pollen dispersal to inform ex situ conservation of the tree *Genipa americana* L. **Plant Genetic Resources**, v. 19, n. 1, p. 9–19, 2021. <http://dx.doi.org/10.1017/S1479262121000022>
- MENDES, G. G. C.; GUSMÃO, M. T. A.; MARTINS, T. G. V.; ROSADO, R. D. S.; SOBRINHO, R. S. A.; NUNES, A. C. P.; RIBEIRO, W. S.; ZANUNCIO, J. C. Genetic divergence of native palms of *Oenocarpus distichus* considering biometric fruit variables. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41507-4>
- MORAES, C. B. de; CARVALHO, E. V. de; ZIMBACK, L.; LUZ, O. dos S. L.; PIERONI, G. B.; MORI, E. S.; LEAL, T. C. A. de B. Variabilidade genética em progênes de meios-irmãos de eucaliptos para tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 39, p. 1047–1054, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000600007>
- MORI, E. S.; SEBBENN, A. M.; TAMBARUSSI, E. V.; GURIES, R. P. Sistema de reprodução em populações naturais de *Peltophorum dubium*. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 307-317, 2013.
- MORITSUKA, E.; HISATAKA, Y.; TAMURA, M.; UCHIYAMA, K.; WATANABE, A.; TSUMURA, Y.; TACHIDA, H. Extended Linkage Disequilibrium in Noncoding Regions in a Conifer, *Cryptomeria japonica*. **Genetics**, v. 190, n. 3, p. 1145–1148, 2012. <https://doi.org/10.1534/genetics.111.136697>
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetics and Cytology**, v. 7, p. 40-51, 1978.

NEI, M.; MARUYAMA, T.; CHAKRABORTY, R. The bottleneck effect and genetic variability in populations. **Evolution**, v. 29, p. 1-10, 1975. <https://doi.org/10.2307/2407137>

NUNES, A. C. P. ConservaGen software: A useful tool for genetic conservation of germplasm. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. 4, p. 389-2144, 2021. <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n4s53>

NUNES, V. V.; SILVA-MANN, R.; SOUZA, J. L.; CALAZANS, C. C. Geno-phenotypic diversity in a natural population of *Hancornia speciosa* Gomes: implications for conservation and improvement. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 68, n. 7, p. 2869–2882, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01160-1>

OLES, A.; PAU, G.; SMITH, M.; SKLYAR, O.; HUBER, W. **EImage: Image processing and analysis toolbox for R version 4.32.0 from Bioconductor**. 2020.

ORSINI, L.; VANOVERBEKE, J.; SWILLEN, I.; MERGEAY, J.; MEESTER, L. Drivers of population genetic differentiation in the wild: isolation by dispersal limitation, isolation by adaptation and isolation by colonization. **Molecular Ecology**, v. 22, n. 24, p. 5983–5999, 2013. <https://doi.org/10.1111/mec.12561>

PÁDUA, G. P.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; NETO, J. de B. F. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 9–16, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300001>

PAIVA, J. N.; BRAGA, R. S. S.; SANTANA, J. A. S.; CANTO, J. L. Crescimento e sobrevivência de *Genipa americana* L. no município de Macaíba (Rio Grande do Norte – Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3 (Edição Especial – XV SEAGROCCA), p.88-93, 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3595073>

PARZEN, E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 33, n. 3, p. 1065–1076, 1962. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177704472>

PIRES, H. R. A.; FRANCO, A. C.; PIEDADE, M. T. F.; SCUDELLER, V. V.; KRUIJT, B.; FERREIRA, C. S. Flood tolerance in two tree species that inhabit both the Amazonian floodplain and the dry Cerrado savanna of Brazil. **AoB PLANTS**, v. 10, n. 6, p. ply065, 2018. <https://dx.doi.org/10.1093%2Faobpla%2Fply065>

POTTER, K. M.; JETTON, R. M.; BOWER, A.; JACOBS, D. F.; MAN, G.; HIPKINS, V. D.; WESTWOOD, M. Banking on the future: progress, challenges and opportunities for the genetic conservation of forest trees. **New Forests**, v. 48, n. 2, p. 153–180, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9582-8>

QGIS. **Heatmap Plugin**. 2015.

RABBANI, A. R. C.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A. Variabilidade genética de *Genipa americana* L. pertencente ao baixo curso do Rio São Francisco. **Revista Árvore**, v. 36, n. 3, p. 401–409, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300002>

RESENDE, M. D. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

RESENDE, M. D. **Genética Quantitativa e de Populações**. 1. ed. Viçosa: Suprema, 2015.

- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Florestas, Colombo, PR, p. 975, 2002.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.
- RESENDE, M. D. V. Software SENElegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330–339, 2016. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>
- RUZZA, D. A. C.; ROSSI, A. A. B.; BISPO, R. B.; TIAGO, A. V.; COCHEV, J. S.; ROSSI, F. S.; FERNANDES, J. M. The genetic diversity and population structure of *Genipa Americana* (Rubiaceae) in Northern Mato Grosso, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 4, p. gmr18017, 2018. <https://doi.org/10.4238/gmr18017>
- SALLA, F.; JOSÉ, A. C.; FARIA, J. M. R. Análise ecofisiológica de *Genipa americana* L. em banco de sementes induzido. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 93–100, 2016. <https://doi.org/10.1590/0104776020162212047>
- SANTANA, K. B.; ALMEIDA, A. A. F.; SOUZA, V. L.; MANGABEIRA, P. A. O.; SILVA, D. da C.; GOMES, F. P.; DUTRUCH, L.; LOGUERCIO, L. L. Physiological analyses of *Genipa americana* L. reveals a tree with ability as phytostabilizer and rhizofilterer of chromium ions for phytoremediation of polluted watersheds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 80, p. 35–42, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.02.004>
- SANTOS, P. C. da S. **Divergência genética em progênies de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. via análise de imagens e estresse salino em sementes**. 2021. - UFRPE, Recife, 2021.
- SEBBENN, A. M. Número de árvores matrizes e conceitos genéticos na coleta de sementes para reflorestamentos com espécies nativas. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 115–132, 2002.
- SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. de F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva - *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 31–38, 1998.
- SILVA, A. V. C.; FREIRE, K. C. S.; LÉDO, A. da S.; RABBANI, A. R. C. Diversity and genetic structure of jenipapo (*Genipa americana* L.) Brazilian accessions. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 387–393, 2014. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0038>
- SILVA, A. V.; SILVA, A. V. C.; MUNIZ, E. N.; ALMEIDA, C. S.; VITORIA, M. F.; MELO, M. F. V.; LEDO, A. S.; RABBANNI, A. R. C. Genetic diversity and sex identification in *Genipa americana* L. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 18, n. 1, 2015.
- SILVA, L. G. C. DA; MOREIRA, J. F. L.; HOLANDA, H. B. B.; ROCHA, E. L. B.; DIAS, P. C. Evaluation of carnauba progenies and estimates of genetic parameters in the juvenile phase. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 917–925, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n414rc>
- SILVEIRA, G. F.; ROSSI, A. A. B.; OLIVEIRA, U. A.; VARELLA, T. L.; ROSSI, F. S.; CAVALLARI, A. A.; GALVANIN, E. A. S. Análise biométrica de frutos e sementes de *Passiflora cristalina* Vanderplank & Zappi. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 138, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6554>

- SIQUEIRA, M. V. B. M.; BAJAY, M. M.; GRANDO, C.; CAMPOS, J. B.; TOLEDO, J. A. M.; DOMINGUES, G. T.; MACRINI, C.; TAMBARUSSI, E. V.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; PINHEIRO, J. B.; ZUCCHI, M. I. Genetic diversity of reintroduced tree populations of *Casearia sylvestris* in Atlantic forest restoration sites. **Forest Ecology and Management**, v. 502, p. 119703, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119703>
- SKRØPPA, T.; STEFFENREM, A. Performance and Phenotypic Stability of Norway Spruce Provenances, Families, and Clones Growing under Diverse Climatic Conditions in Four Nordic Countries. **Forests**, v. 12, n. 2, p. 230, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12020230>
- SOLÍS-GUILLÉN, I.; CHAIRES-PACHECO, M.; JUÁREZ-GÓMEZ, J.; O'CONNOR-SÁNCHEZ, A.; PEÑA-RAMÍREZ, Y. J. Development of an Ideotype-Based Selection Tool for Native Tropical Tree Breeding by Smallholder Planters in Mexico's Maya Forest. **Small-scale Forestry**, v. 16, n. 4, p. 521–534, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11842-017-9368-z>
- SOUZA, R. R.; OLIVEIRA PAIVA, P. D.; SOUZA, A. R.; SILVA, R. R.; SILVA, D. P. C.; REIS, M. V.; PAIVA, R. Morpho-anatomical changes and antioxidant enzyme activity during the acclimatization of *Genipa americana*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, n. 6, p. 1–10, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03263-9>
- STERCK, F. J.; DUURSMA, R. A.; PEARCY, R. W.; VALLADARES, F.; CIESLAK, M.; WEEMSTRA, M. Plasticity influencing the light compensation point offsets the specialization for light niches across shrub species in a tropical forest understorey. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 4, p. 971–980, 2013. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12076>
- TAMBARUSSI, E. V.; BOSHIER, D. H.; VENCOVSKY, R.; FREITAS, M. L. M.; DIDIO, O. J.; SEBBENN, A. M. Several Small: How Inbreeding Affects Conservation of *Cariniana legalis* Mart. Kuntze (Lecythidaceae) the Brazilian Atlantic Forest's Largest Tree. **International Forestry Review**, v. 18, n. 4, p. 502–510, 2016. <https://doi.org/10.1505/146554816820127550>
- TEAM, R. C. **R: A language and environment for statistical computing**. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2020.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, 1991.
- VIEIRA, F. de A.; GUSMÃO, E. Biometria, armazenamento de sementes e emergência de plântulas de *Talisia esculenta* Radlk. (Sapindaceae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1073–1079, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400006>
- WEI, T.; SIMKO, V. **R package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix**. 2017.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.
- YING, C. C.; YANCHUK, A. D. The development of British Columbia's tree seed transfer guidelines: Purpose, concept, methodology, and implementation. **Forest Ecology and Management**, v. 227, n. 1–2, p. 1–13, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.028>

YOUNG, A.; BOYLE, T. **Forest Fragmentation**. *In*: YOUNG, A.; BOSHIER, D.; BOYLE, T. *Forest Conservation genetics: principles and practice*. CSIRO Publishing, Collingwood, p. 123-132, 2000.

ZAMBIAZZI, E. V.; BRUZI, A. T.; GUILHERME, S. R.; PEREIRA, D. R.; LIMA, J. G.; ZUFFO, A. M.; RIBEIRO, F. O.; MENDES, A. E. S.; GODINHO, S. H. M.; CARVALHO, M. L. M. Estimates of genetics and phenotypics parameters for the yield and quality of soybean seeds. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, p. 16039801, 2017. <https://doi.org/10.4238/gmr16039801>

ZHANG, B.; CAI, Z.; SHEN, Z.; YAN, J.; MA, R.; YU, M. Diversity Analysis of Phenotypic Characters in Germplasm Resources of Ornamental Peaches. **Scientia Agricultura Sinica**, v. 54, n. 11, p. 2406–2418, 2021.

CONCLUSÃO GERAL

Com esse trabalho, foi possível determinar que faltam estudos recentes que subsidiem a aplicação do *G. americana* em projetos de restauração, ainda que se verifique a tendência no crescimento do conhecimento para esse tipo de aplicação da espécie. O aumento na produção científica em relação à genética da espécie é visível, porém ainda existe uma lacuna em relação aos aspectos ambientais que afetam o desenvolvimento da espécie, bem como a aplicação direta em áreas de restauração.

A hipótese de que as variáveis ambientais influenciam na ocorrência de *G. americana* pelo Brasil foi confirmada. A espécie ocorre preferencialmente em regiões de altas temperaturas, altas precipitações, baixas altitudes, e regimes climáticos que possuem uma correlação proporcionalmente alta de umidade com temperatura. Ainda, o bioma brasileiro que mais tem potencial de implementação da espécie é a Amazônia, visto que é a região com maior área com essas condições ambientais.

O estudo tem contribuição significativa para a comunidade científica e técnica, além da comunidade em geral, pois demonstra lacunas a serem preenchidas em futuros estudos envolvendo a *G. americana*, bem como quais condições ambientais dão perspectivas de serem ideais para a implementação da espécie em futuros projetos de restauração. Ainda, para complementar, o estudo indica uma boa fonte de material genético/reprodutivo no Estado de Pernambuco, utilizando uma metodologia acessível e de simples aplicação.