



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GUTIERRE PEREIRA MACIEL

BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CARAJÁS

BELÉM

2021

GUTIERRE PEREIRA MACIEL

**BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CARAJÁS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia,
como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, para obtenção de título de mestre.
Área de concentração: Manejo e Conservação de Recursos Ambientais.
Orientador: Dr. Silvio Junio Ramos

BELÉM

2021

GUTIERRE PEREIRA MACIEL

**BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES VEGETAIS
NATIVAS DE CARAJÁS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção de título de mestre.
Área de concentração: Manejo e Conservação de Recursos Ambientais.

Data da aprovação

Banca examinadora:

Orientador

Pesquisador Dr. Silvio Junio Ramos
Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável – ITVDS Belém

Membro 1

Pesquisador Dr. Cecílio Frois Caldeira Junior
Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável – ITVDS Belém

Membro 2

Pesquisadora Dra. Karine Dias Batista
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Roraima

Membro 3

Prof. Dr. Allan Klynger da Silva Lobato
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA Paragominas

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que me deu saúde e sabedoria para desenvolver esta dissertação, bem como para poder ser aprovado nas disciplinas do curso, no teste de proficiência em inglês e no estágio de docência.

À minha família, especialmente meus pais, Eliane da Silva Pereira e Antônio Heraldo Moreira Brito, que sempre apoiaram minhas decisões acadêmicas e o meu sonho: obter os títulos de mestre e, futuramente, de doutor.

Aos professores Wanderson Cunha Pereira, José Francisco Sosa-Duque, Eric Victor de Oliveira Ferreira, Maura da Silva Costa Furtado, Edson Koiti Kudo Yasojima, Fabrício Wickey da Silva Garcia, Paulo Robson Campelo Malcher e Eulália Carvalho da Mata, vinculados à UFRA/Capitão Poço, pois me ampararam financeiramente durante os cinco primeiros meses da pós-graduação, o que foi fundamental para minha permanência no curso. Gostaria de agradecer em especial ao primeiro, pois foi quem tomou essa nobre iniciativa junto aos demais, após saber que eu não fui contemplado com bolsa. Jamais esquecerei o que ele e os demais fizeram por mim. Serei eternamente grato!

Aos meus tios, “Nega” e Geraldo, que inicialmente me acolheram em Belém, de maneira muito receptiva e carinhosa.

Ao meu orientador, Silvio Junio Ramos, por todo o conhecimento teórico e prático que adquiri a partir de suas orientações, aulas, explicações e críticas, que foram fundamentais para minha formação.

Ao Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITVDS) pelo excelente suporte oferecido para a instalação e condução do experimento (local, laboratório, equipamentos, insumos, etc.).

A todos do grupo de pesquisa da área de Recuperação Ambiental do ITVDS, os quais me auxiliaram em vários momentos, desde a implantação até a fase final do ensaio.

Ao Programa de Incentivo à Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq) pelo apoio financeiro, o qual durou 14 meses e que me foi concedido após 1 ano sem bolsa.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização da Floresta Nacional de Carajás. 12
- Figura 2.** Massa de 100 sementes de espécies nativas da FLONA Carajás em função do hábito de crescimento (A), grupo de sucessão ecológica (B) e ciclo biológico (C)..... 40
- Figura 3.** Porcentagem de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de grupos de espécies nativas da FLONA Carajás, antes e após escarificação. 41
- Figura 4.** Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies herbáceas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica..... 42
- Figura 5.** Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies arbustivas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica. 43
- Figura 6.** Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies arbóreas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica..... 44
- Figura 7.** Porcentagem de germinação de sementes de 10 espécies nativas da FLONA Carajás, após tratamentos pré-germinativos..... 45
- Figura 8.** Correlação entre as características de biometria, germinação e IVG de sementes de 39 espécies nativas da FLONA Carajás, Brasil..... 47

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Relação das 39 espécies vegetais nativas da FLONA Carajás analisadas, com seus respectivos hábitos de crescimento, família e nomes populares.34
- Tabela 2.** Lista de espécies vegetais nativas da FLONA Carajás analisadas e seus respectivos tratamentos pré-germinativos, conforme os resultados da taxa de germinação aferidos no estudo e disponibilidade de sementes.36
- Tabela 3.** Média de comprimento (C), largura (L), espessura (E) e massa (M) de sementes de 39 espécies nativas da FLONA Carajás, Brasil.38

RESUMO

A baixa taxa germinação, bem como a ausência de conhecimento básicos sobre sementes de espécies nativas, como tamanho e massa, constituem-se em alguns dos principais gargalos do seu uso com maior sucesso em programas de recuperação e, ou, compensação ambiental e de conservação de espécies ameaçadas. Neste estudo, avaliou-se a biometria de sementes de espécies nativas da FLONA Carajás e o efeito da escarificação do tegumento das sementes sobre a germinação das mesmas, visando a otimização no uso de sementes de espécies nativas em programas de revegetação de áreas mineradas. Os tratamentos pré-germinativos das sementes consistiram em desponte (escarificação mecânica), imersão em ácido sulfúrico (98 %) (escarificação química) e imersão em água quente (100 °C) (escarificação térmica), testes estes conduzidos conforme o manual de Regras para Análise de Sementes (RAS). Os resultados mostraram que i) o tamanho e massa das sementes foram bastante variáveis entre as espécies; ii) todos os grupos de hábitos de crescimento analisados apresentaram, em média, taxas de germinação inferiores a 60 %, além de reduzida velocidade de germinação; iii) após a escarificação, as sementes das espécies nativas germinaram, em média, praticamente 3 vezes mais e apresentaram velocidade de germinação aproximadamente 11 vezes maior; iv) 17 das 18 espécies leguminosas apresentaram baixas taxas de germinação, evidenciando a existência de algum tipo de dormência. O tamanho e a massa de sementes variam bastante entre as espécies nativas. A escarificação mecânica do tegumento da semente aumenta a taxa de germinação das sementes na maioria das espécies estudadas, sendo considerado o melhor método.

Palavras-chave: Propagação vegetal. Dormência de sementes. Escarificação. Recuperação ambiental.

ABSTRACT

The low germination rate, as well as the lack of basic knowledge about seeds of native species, such as size and mass, constitute some of the main bottlenecks of their use with greater success in environmental recovery programs. In this study, it was evaluated the biometry of seeds of native species of FLONA Carajás and the effect of scarification of the seed coat on their germination, aiming at the optimization in the use of seeds of native species in programs of revegetation of mined areas. The pre-germinative treatments of the seeds consisted of topping (mechanical scarification), immersion in sulfuric acid (98%) (chemical scarification) and immersion in hot water (100 ° C) (thermal scarification), tests carried out according to the Rules manual for Seed Analysis (RAS, in portuguese). The results showed that i) the size and mass of the seeds were quite variable between species; ii) all groups of growth habits analyzed presented, on average, germination rates below 60%, in addition to reduced germination speed; iii) after scarification, the seeds of native species germinated, on average, practically 3 times more and presented germination speed approximately 11 times higher; iv) 17 of the 18 leguminous species showed low germination rates, evidencing the existence of some type of dormancy. Seed size and mass vary widely among native species. Mechanical scarification of the seed coat increases the seed germination rate in most of the studied species, being considered the best method.

Keywords: Plant propagation. Seed dormancy. Scarification. Environmental recovery.

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	FLONA Carajás	11
2.1.1	Cobertura vegetal	13
2.2	Espécies nativas na recuperação ambiental de áreas mineradas	14
2.3	Qualidade de sementes na revegetação de áreas degradadas: o desafio de utilizar espécies nativas	16
2.4	Biometria de sementes	16
2.5	Germinação	18
2.5.1	Fatores que influenciam a germinação.....	19
2.5.1.1	Fatores exógenos.....	19
2.5.1.1.1	Temperatura	19
2.5.1.1.2	Água.....	20
2.5.1.1.3	Oxigênio.....	21
2.5.1.1.4	Luz	21
2.5.1.2	Fatores endógenos.....	22
2.6	Dormência de sementes	22
2.6.1	Tipos de dormência.....	23
2.6.2	Superação da dormência	23
	REFERÊNCIAS	26
3	BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES VEGETAIS NATIVAS DE CARAJÁS VISANDO A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	34
3.1	Metodologia	34
3.1.1	Material Vegetal.....	34
3.1.2	Biometria, germinação e quebra de dormência de sementes	35
3.1.3	Análise estatística.....	37
3.2	Resultados e discussão	37
3.2.1	Características morfológicas da semente	37
3.2.2	Germinação e escarificação de sementes	40
3.2.3	Relação entre biometria e germinação de sementes.....	46
3.3	Conclusão	47
	REFERÊNCIAS	49

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O domínio fitogeográfico da Amazônia situa-se na região setentrional da América do Sul e possui aproximadamente 7 milhões km², distribuídos majoritariamente no Brasil, abrangendo no total cerca de nove países (TER STEEGE et al., 2013). Além de biodiversidade em demasia, a Amazônia brasileira tem sido reconhecida mundialmente pela riqueza mineral, devido à presença de vários e grandes depósitos minerais de relevância econômica. Não por acaso, o bioma vem sendo alvo de muitos empreendimentos minerários ao longo dos últimos anos, inclusive em unidades de conservação da natureza (SILVA, 2015), a exemplo da Floresta Nacional de Carajás (FLONA Carajás).

Localizada na Amazônia Oriental, a FLONA Carajás ocupa aproximadamente 400 mil hectares e nela se desenvolvem planos de conservação da biodiversidade concomitante à atividade da mineração de ferro e outros minerais (ZAPPI, 2017). Embora sua cobertura vegetal seja predominantemente composta por floresta ombrófila, existe também áreas abertas, denominadas campos rupestres ferruginosos ou cangas, que estão situadas de forma esparsa e isoladas nos pontos mais altos da paisagem (ICMBIO, 2016). As áreas de Canga referem-se a uma vegetação metalófila que se estabelece sobre afloramentos hematíticos (JACOBI et al., 2007), os quais constituem as reservas minerais de ferro exploradas comercialmente. São caracterizadas por elevados níveis de diversidade e endemismo de espécies vegetais (VIANA; LOMBARDI, 2007; SKIRYCH et al., 2014), resultado das condições de clima e solo específicas dessas áreas e do isolamento biofísico imposto pela matriz florestal, sendo consideradas ecossistemas únicos no contexto amazônico.

Na FLONA Carajás, apesar da extração de minerais se concentrar preferencialmente nas cangas, atividades de suporte à mineração (e.g. vias de acesso e transporte, pátio de estoque de minérios, espaços para disposição de rejeitos e material estéril, etc.) avançam também sobre outros ecossistemas vizinhos. A fim de mitigar os efeitos negativos da mineração sobre o meio ambiente e conservar a biodiversidade local, a legislação ambiental brasileira exige a recuperação de áreas degradadas pela atividade da mineração e obriga, ainda, o emprego de espécies nativas da região no processo de revegetação (GASTAUER et al., 2019).

Sabe-se, no entanto, que o desenvolvimento de programas de compensação e, ou, recuperação ambiental, assim como de conservação de espécies ameaçadas, se inicia e depende fortemente da propagação das espécies envolvidas. Esses programas frequentemente exigem ações de curto prazo, o que dificulta a escolha de métodos ou técnicas de propagação mais adequados. No caso de plantas nativas, desenvolver tais soluções esbarra na falta de informações básicas sobre as espécies (SOUZA et al., 2007), principalmente em relação as

características da germinação. Na FLONA Carajás, o reduzido número de protocolos de propagação de espécies nativas, seja da floresta ombrófila, seja das áreas de canga, acarreta na necessidade de maiores esforços e estudos para propagar espécies nativas para serem utilizadas na revegetação, favorecendo, assim, o retorno de serviços ambientais outrora prestados pelo ecossistema local.

Um dos grandes gargalos do emprego de espécies nativas em programas de revegetação diz respeito a baixa taxa de germinação de sementes de algumas espécies, que pode ser devido à manifestação de algum tipo de dormência. Este fato, por sua vez, pode contribuir para o uso de espécies exóticas em detrimento das nativas, pois, de modo geral, apresentam melhor desempenho germinativo, mas, por outro lado, impactam negativamente a diversidade da restauração ambiental (FERREIRA et al., 2016). Outros desafios no uso de espécies nativas consistem no baixo conhecimento sobre propagação, crescimento, requerimento nutricional das espécies, além da baixa disponibilidade de sementes (RAMOS et al., 2019).

A dormência de sementes é considerada um mecanismo evolutivo que aumenta a probabilidade da germinação iniciar quando as condições ambientais forem favoráveis à sobrevivência das plântulas (SOUZA et al., 2007), sendo comumente encontrada em Fabaceae, Malvaceae, Convolvulaceae, Liliaceae e Solanaceae (POPINIGIS, 1985; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; NASCIMENTO et al., 2009). Dessa forma, considera-se sementes dormentes aquelas que não germinam em condições ambientais adequadas, sendo caracterizadas pela baixa taxa de germinação, a qual ocorre de maneira lenta e irregular (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Para Baskin e Baskin (2004), os principais tipos de dormência são de natureza física – tegumento da semente com baixa permeabilidade à água, que impede o enfraquecimento dos tecidos e, por conseguinte, a protrusão da radícula; fisiológica – presença de compostos inibidores ou ausência de substâncias promotoras da germinação; morfológica – o embrião ainda se encontra imaturo; e, combinada (morfológica + fisiológica; física + fisiológica), de modo que a dormência física ou tegumentar é considerada a mais comum.

Para várias espécies nativas da Amazônia, a impermeabilidade do tegumento à água tem sido relatada como a causa mais comum da dormência de sementes (SANTOS, 2018; PINEDO; FERRAZ, 2008; CIPRIANI; GARLET; LIMA, 2019; ARAÚJO; MOTA; DOBBSS, 2019), especialmente em leguminosas – um dos principais grupos de plantas empregados em programas de revegetação. Dentre os métodos que vem sendo empregados com sucesso para aumentar a eficiência do seu processo germinativo, destaca-se a escarificação do tegumento da semente, que consiste em injúria, corte ou enfraquecimento dos envoltórios mais externos da

semente. Os tipos de escarificação mais utilizados na superação de dormência são a escarificação ácida, escarificação mecânica e imersão em água quente (POPINIGIS, 1985), os quais agem de maneira diferente, mas com o mesmo propósito: aumentar a embebição e o fluxo das trocas gasosas, favorecendo o início do processo germinativo.

O conhecimento sobre a germinação de espécies nativas da Amazônia ainda é incipiente frente à diversidade de sua flora e torna-se cada vez mais urgente à medida que áreas de diferentes tipos de vegetação vão sendo convertidas em prol da agricultura, pecuária e mineração. Logo, identificar a presença de dormência nessas sementes e propor técnicas para superá-la pode otimizar a reintrodução dessas espécies em seu habitat, resultando em maior conservação das mesmas.

A biometria de sementes de espécies nativas constitui-se em outra informação básica também de grande importância em programas de revegetação, pois é considerada conhecimento indispensável para o melhor entendimento da ecologia das espécies e do estabelecimento de plântulas no campo (GUERRA; MEDEIROS FILHO; GALLÃO, 2006), bem como para uma idônea coleta de sementes, visto que ajuda na identificação e diferenciação de espécies de grupos taxonômicos semelhantes em florestas neotropicais (BASKIN; BASKIN, 2014).

Diante do exposto, percebe-se que o estudo da biometria e germinação de sementes pode contribuir para a melhor compreensão do comportamento ecológico de espécies nativas na natureza, bem como para o desenvolvimento de estratégias e tecnologias que visem a otimização do uso das sementes de tais espécies na recuperação ambiental de áreas mineradas na FLONA Carajás, onde o processo de revegetação ocorre via semeadura (hidrossemeador) ou plantio de mudas (ZAPPI et al., 2018).

Desta maneira, a partir da hipótese de que as sementes de espécies nativas da FLONA Carajás apresentam baixa taxa de germinação e que esta pode ser incrementada positivamente após tratamentos pré-germinativos, e face a ausência de informações sobre as características fisiológicas e morfológicas das sementes, objetivou-se avaliar neste estudo a biometria e a germinação (percentual e velocidade) de sementes de espécies nativas da FLONA Carajás, e o efeito da escarificação do tegumento da semente sobre a germinação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FLONA Carajás

A Floresta Nacional de Carajás (FLONA Carajás) é uma unidade de conservação (UC) de Uso Sustentável, na qual, os recursos naturais podem ser explorados de forma racional,

conforme a lei n° 9.985/00, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) (BRASIL, 2000). O SNUC defini que UC é uma área “[...] com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sobre regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção” (Art. 2º, inciso I). De acordo com o SNUC, uma UC de Uso Sustentável tem por objetivo básico “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais” (Art. 7º, § 2º), e a categoria Floresta Nacional, por sua vez, tem como objetivo “o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para a exploração sustentável de florestas nativas” (Art. 17).

A FLONA Carajás está localizada na mesorregião Sudeste Paraense, Pará, Brasil (Figura 1), entre os rios Tocantins e Xingu (VIANA et al., 2016), e compreende uma área de aproximadamente 400 mil hectares, que abrange os municípios de Parauapebas (76,5 %), Canaã dos Carajás (22,5 %) e Água Azul do Norte (1 %) (ISA, 2020). Além disso, está situada no complexo montanhoso descontínuo da Serra dos Carajás, também conhecida como Província Mineral de Carajás, que é limitada geograficamente a leste pelo rio Tocantins, a oeste pelo rio Xingu, a norte pela serra do Bacajá e a sul pela serra dos Gradaús (HIRATA et al., 1982), onde ocorre grandes depósitos minerais (ARAÚJO; SOUSA, 2018).

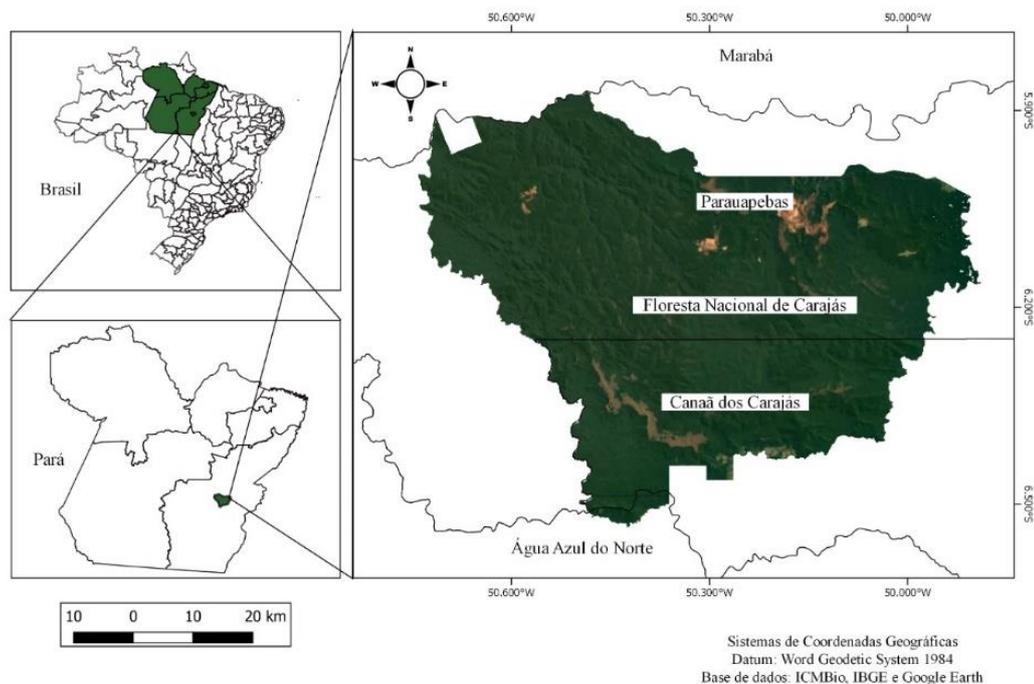


Figura 1. Localização da Floresta Nacional de Carajás.

Fonte: elaborado pelo autor.

A altitude da Serra dos Carajás, onde está situada a FLONA Carajás, varia entre 500 a 800 m acima do nível do mar, e o clima, conforme a classificação Köppen, é do tipo Awi (quente e úmido), caracterizado por apresentar elevado índice pluviométrico anual e período de estiagem bem definido. Os meses de janeiro, fevereiro e março são os mais chuvosos (ZAPPI, 2017), enquanto que, FLONA Carajás, de maio a outubro ocorre a estiagem (CARMO; KAMINO, 2015). De acordo com Viana et al. (2016), a temperatura média mensal varia entre 25,1 °C e 26,3 °C; a umidade relativa, por sua vez, considerada alta ao longo do ano, apresenta média mensal oscilando de 76,8 % a 88,5 %; e a insolação média mensal atinge o pico, de 200 horas, entre meses de junho e agosto. Contudo, vale ressaltar que nas áreas de canga ocorrem temperaturas mais altas durante o dia e mais baixas durante a noite, em comparação a áreas de floresta circunvizinhas (RAYOL, 2006).

Após a descoberta dos depósitos de ferro na Serra dos Carajás na década de 60, desencadeou-se uma série de processos territoriais que resultaram em acelerado e desordenado crescimento urbano e demográfico na região (SILVA et al., 2017). Na época, o fluxo migratório de pessoas foi facilitado pela implantação de obras importantes, como as rodovias Marabá-Fortaleza (BR 222), Belém-Brasília (BR 010) e Transamazônica (BR 230), e a hidrelétrica de Tucuruí, sendo intensificado na década de 80, a partir da (i) instalação do Projeto Ferro Carajás, incluído no Programa Grande Carajás, que visava a extração, beneficiamento, escoamento e exportação do minério do ferro encontrado (SILVA, 2006; ICMBIO, 2016), e da (ii) descoberta de ouro em Serra Pelada, no município de Curionópolis, elevando consideravelmente, assim, a pressão sobre ecossistemas importantes da Serra dos Carajás. Diante desse cenário, pesquisadores recomendaram a demarcação de uma área que garantisse o direito legal de exploração mineral (ICMBIO, 2016). Mais tarde, essa discussão resultou na criação FLONA Carajás, em 1998, o que permitiu a continuidade do Projeto Ferro Carajás e viabilizou a exploração dos recursos naturais de modo sustentável.

2.1.1 Cobertura vegetal

Na FLONA Carajás existem, basicamente, dois tipos de vegetação: floresta ombrófila, que ocupa ca. 95 % da UC, e campos rupestres ferruginosos, também denominados de savanas metalófilas (PORTO; SILVA, 1989) ou cangas (RIZZINI, 1979; SECCO; MESQUITA, 1983), que ocorrem nas partes mais elevadas da paisagem e representam ca. 3 % da área da UC. Ambos os tipos de vegetação, floresta e canga, são portadores de sementes de espécies utilizadas nos programas de revegetação conduzidos na FLONA Carajás.

A canga refere-se a um tipo de vegetação que ocorre sobre afloramentos rochosos ricos em ferro, os quais constituem as jazidas minerais com potencial para exploração econômica. As áreas de canga, na Serra dos Carajás, são consideradas ecossistemas únicos no domínio fitogeográfico da Amazônia (VIANA et al., 2016), devido sua flora especializada, com elevado número de espécies endêmicas (MOTA et al., 2018).

Até meados da primeira década do século XXI, a flora da FLONA Carajás, sobretudo aquela que ocorre na canga, ainda era pouco conhecida ou estudada. Segundo Viana et al. (2016), a partir de 2007, pesquisadores e estudantes realizaram análises florísticas e fitossociológicas na Serra dos Carajás, que resultaram na coleta de aproximadamente cinco mil amostras, suficientes para descrever novas espécies, dentre elas, várias endêmicas da região (GONÇALVES; ARRUDA, 2013; DITTRICH; SALINO; ALMEIDA, 2012; ARAÚJO; CHAUTEMS, 2015; PEREIRA et al., 2016; CABRAL; MIGUEL; VIANA, 2012; SALAS et al., 2015; MICHELANGELI; VIANA, 2016).

Em 2015, o projeto Flora das Cangas da Serra dos Carajás (VIANA et al., 2016), liderado pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e o Instituto Tecnológico Vale (ITV), a partir de diversas expedições e análise de vários botânicos nacionais e internacionais, reuniu estudos sobre 164 famílias – a maioria do grupo angiosperma –, totalizando 1.064 espécies botânicas (MOTA et al., 2018; SALINO; ARRUDA; ALMEIDA, 2018). O estudo representa um marco na história do estudo da flora das cangas da Serra dos Carajás, pois preencheu uma parte da lacuna de um conhecimento que é considerado básico para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação da biodiversidade da região.

2.2 Espécies nativas na recuperação ambiental de áreas mineradas

Para suprir a demanda mineral atual da sociedade moderna, intensificada pelo crescimento demográfico e aumento do padrão de consumo da população, torna-se necessária a exploração de minérios na natureza, o que, por vezes, aumenta a pressão sobre ecossistemas locais de biomas importantes, a exemplo da Amazônia, resultando em impactos ambientais significativos (RIBEIRO; ALMEIDA; NUNES, 2019).

A lavra mineral à céu aberto – método adotado na FLONA Carajás –, por exemplo, implica necessariamente supressão da cobertura vegetal nativa e remoção do solo superficial (SALOMÃO; ROSA; MORAIS, 2007), que desencadeiam uma série de problemas edáficos e ecológicos, como redução da biodiversidade, perda de serviços ecossistêmicos e erosão, culminando, de maneira geral, na degradação ambiental das áreas mineradas. E a revegetação

natural dessas áreas pós-mineração não ocorre devido à forte degradação do solo, sendo os principais fatores limitantes para plantas: compactação elevada e baixa fertilidade (CORRÊA; LEITE, 1998).

Para atenuar tais problemas, a legislação ambiental brasileira¹ dispõe de alguns dispositivos legais, os quais apontam para obrigatoriedade da recuperação de áreas impactadas pela atividade da mineração (GASTAUER et al., 2019), como uma das condicionantes para obtenção de licenças: prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO). No ato do licenciamento ambiental, por exemplo, os titulares da concessão da lavra são obrigados a apresentar, dentre outros documentos, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) (BRASIL, 1989), o qual deve ser previamente elaborado e submetido à aprovação do órgão ambiental competente². A lei exige, ainda, que os responsáveis pelo empreendimento executem e concluam adequadamente o PRAD (BRASIL, 2018), estando sujeitos à penalização civil e administrativa, conforme a lei dos crimes ambientais (BRASIL, 1998).

Conforme Viana et al. (2016), a legislação ambiental brasileira permite a atividade da mineração desde que os projetos, apresentados ao órgão competente, demonstrem que haverá conservação da biodiversidade, bem como de seus serviços ecossistêmicos associados, e redução dos impactos ambientais. Nesse sentido, os responsáveis devem incluir obrigatoriamente, no PRAD, o emprego de espécies nativas da região e, não necessariamente, apenas espécies não-nativas.

De modo geral, a recuperação das áreas mineradas envolve, dentre outros aspectos, o enriquecimento do solo (calagem, adubação, etc.) e o uso de espécies nativas e exóticas (TILSTONE et al., 1998), ambas dos mais diferentes hábitos, desde herbáceo até arbóreo, levando-se em consideração estágios sucessionais ecológicos (espécies pioneiras, secundárias e clímax) (KAGEYAMA; GANDARA, 2004).

Embora seja uma exigência legal, o uso de espécies nativas, por sua vez, apresenta diversas vantagens para a reabilitação de áreas mineradas, como: recomposição de ecossistemas com restabelecimento mais rápido dos serviços ambientais (i), adaptação edáfica e climática (ii), visto que algumas áreas possuem características bastante estressantes para as plantas, a exemplo de irradiação e temperaturas elevadas, bem como déficit hídrico acentuado em

¹ Possui leis, normas e decretos bastante exigentes quanto à recuperação de áreas degradadas, sendo considerada uma das mais bem elaboradas do mundo (MOURA, 2015; ALMEIDA, 2016).

² O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos recursos naturais renováveis – IBAMA, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente – MMA, é o responsável pelo licenciamento ambiental das atividades de mineração com significativo impacto ambiental (FARIAS, 2002). Para empreendimentos de menor impacto, a legalização ambiental pode ser realizada por órgãos ambientais estaduais e municipais.

determinado período do ano. A principal desvantagem dessas espécies é escassez ou falta de conhecimento sobre as mesmas, o que limita sua utilização na recuperação de áreas mineradas.

2.3 Qualidade de sementes na revegetação de áreas degradadas: o desafio de utilizar espécies nativas

As sementes são a principal forma de propagação de plantas superiores empregadas em programas de revegetação de áreas degradadas. Nestas áreas, as sementes podem ser utilizadas diretamente via semeadura direta e, ou, indiretamente via produção de mudas, sendo o primeiro método considerado o mais econômico e prático.

De modo geral, a qualidade dos lotes de sementes é um dos principais fatores que irão determinar o sucesso da recuperação dessas áreas. Considera-se de qualidade os lotes de sementes íntegras com boa taxa e velocidade de germinação e possibilidade de armazenamento por períodos relativamente longos. Tais parâmetros permitem maior disponibilidade das sementes e colonização inicial mais rápida e uniforme das áreas pelas plântulas, respectivamente.

A legislação ambiental brasileira exige que o plano de recuperação de áreas degradadas inclua espécies nativas, em locais cuja vegetação nativa foi suprimida. Contudo, a principal característica das espécies nativas que restringe seu uso em programas de revegetação refere-se a baixa taxa germinação de suas sementes que, associada a falta de informações botânicas, ecológicas e agronômicas sobre tais espécies, consiste em um dos grandes desafios a ser superado por pesquisadores e tecnólogos de sementes. Portanto, para aumentar o emprego de espécies nativas em programas de recuperação de áreas ambientalmente impactadas, torna-se necessário preencher essa lacuna de conhecimento e desenvolver tecnologias que melhorem o desempenho germinativo das sementes.

2.4 Biometria de sementes

O emprego de espécies nativas da Amazônia em programas de recuperação de áreas degradadas, reflorestamento e conservação esbarra, muitas vezes, na escassez ou mesmo ausência de conhecimento sobre parâmetros básicos da planta, como a biometria de sementes. Observa-se, ainda, a mesma dificuldade quando o objetivo final é a produção comercial dessas espécies, seja para paisagismo, ornamentação, seja para ofertar produtos madeireiros e não-madeireiros.

A biometria de sementes de espécies nativas é considerada indispensável para o entendimento da dispersão, sobrevivência e estabelecimento de plântulas, contribuindo, ainda, para a distinguir espécies de diferentes grupos taxonômicos e ecológicos – pioneiras e não pioneiras – em florestas neotropicais (BASKIN; BASKIN, 2014). Além disso, é fundamental para o desenvolvimento de (i) critérios de seleção (comprimento, largura, espessura, massa, etc.) (BERTO et al., 2020) e (ii) técnicas de produção de mudas (NEVES et al., 2018), e permite melhor compreensão do estabelecimento da planta em campo (GUERRA; MEDEIROS FILHO; GALLÃO, 2006).

No que se refere à dispersão, por exemplo, o tamanho ou a massa da semente diz muito a respeito da estratégia da planta. Sementes dispersadas pelo vento (anemocoria) são mais leves, não raramente apresentando estruturas que favorecem sua distribuição por correntes de ar; enquanto que sementes dispersadas pela água (hidrocoria) geralmente são menos densas, facilitando seu transporte por corpos hídricos (ALMEIDA-CORTEZ, 2004), como rios, córregos, igarapés e regime de marés.

Espécies nativas, em sua maioria, apresentam maior capacidade de resistir às adversidades no campo, no entanto, devem crescer o mais rápido possível para competir com a vegetação espontânea e se tornarem mais tolerantes ao ataque de pragas. As maiores taxas de crescimento são constatadas em plântulas oriundas de sementes de maior vigor que, por sua vez, pode variar de acordo com o tamanho e massa do diásporo – unidade de dispersão da planta.

O tamanho da semente está em função do genótipo e da influência do meio ambiente durante seu desenvolvimento (WOOD et al., 1977 apud CARRIJO, 2011), e geralmente está associado à qualidade fisiológica da semente (POPINIGIS, 1985). De modo geral, sementes maiores são mais ricas em reservas nutritivas e possuem embrião bem desenvolvido (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012), o que eleva a probabilidade do sucesso da germinação (DRESCH et al., 2013), resultando em maior uniformidade da emergência de plântulas e padronização das mudas, embora, na literatura exista algumas exceções quanto a esse comportamento (AGUIAR et al., 1996; ALVES et al., 2005). Pinto et al. (2020), avaliando caracteres morfológicos das sementes de catingueira (*Poincianella pyramidalis* (Tul.) L.P. Queiroz), uma espécie nativa da Caatinga, verificaram que as sementes de menor massa apresentaram menores taxas de germinação e crescimento inicial, reflexo do baixo conteúdo de reservas. Ainda segundo os autores, a diferenciação e a classificação das sementes por massa e tamanho pode ser uma maneira eficiente de melhorar a qualidade de lotes de sementes em relação à uniformidade de emergência e vigor das plântulas.

A variação no tamanho da semente é resultado da interação entre fatores intrínsecos (genéticos) e extrínsecos (ambientais), que pode gerar novos padrões morfométricos dentro de uma população da mesma espécie (BEZERRA et al., 2014; ACCHILE et al., 2017), sendo bastante comum em espécies florestais, especialmente em relação àquelas com ampla distribuição geográfica. De acordo com Macedo et al. (2009), o ambiente influencia bastante o desenvolvimento da semente, no que diz respeito à variação de tamanho, peso, potencial fisiológico e sanidade. Carvalho et al. (2020), relatam que a variação de características físicas das sementes, como peso, pode variar em função da localização fitogeográfica, coleta em diferentes indivíduos e nichos ecológicos distintos, reforçando a influência do ambiente.

A escolha das espécies nativas para a recuperação de áreas degradadas leva em consideração uma série de fatores, que vão desde a adaptação edafoclimática até a disponibilidade e qualidade de sementes. Logo, a coleta de sementes de espécies nativas compreende uma etapa importante no processo de reabilitação de áreas impactadas, e seu sucesso depende da correta identificação e, ou, diferenciação das espécies, que se dá através de alguns métodos, dentre eles, a biometria de sementes. Segundo SCREMIN-DIAS et al. (2006), a incorreta identificação botânica da matriz pode prejudicar financeiramente o consumidor final, seja pessoa física ou jurídica, comprometendo, portanto, programas de recomposição de vegetação nativa.

2.5 Germinação

A germinação de sementes compreende uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos, que inicia na absorção de água, passa pela ativação do metabolismo e culmina no surgimento de alguma parte do eixo embrionário, notadamente a radícula. De modo geral, a germinação pode ser definida como sendo o retorno do crescimento e desenvolvimento do embrião de uma semente madura e viável, resultando em uma plântula com as estruturas essenciais para seu pleno estabelecimento (CAMILLO, 2008), quer seja no campo, quer seja em casa de vegetação, viveiro ou laboratório.

Contudo, a botânica e a tecnologia de sementes definem a germinação de maneira distinta. A primeira considera que germinação se dá quando há a protrusão/extrusão de alguma estrutura do eixo embrionário, que geralmente é a radícula ou raiz primária; enquanto que a segunda, considera que germinação se refere à formação de uma plântula normal, com partes aérea e radicular vigorosas (SALOMÃO et al., 2003).

O estudo da germinação de sementes é essencial para elaboração de estratégias de conservação de espécies nativas e de recuperação de áreas degradadas, visto que as sementes são, em geral, a principal forma de propagação. Avaliar o poder germinativo de um lote de sementes, de acordo com Salomão et al. (2003), constitui-se numa informação importante para o planejamento da comercialização, plantio e conservação de espécies vegetais. Porém, existe uma lacuna de conhecimento acerca deste assunto na literatura, sobretudo em relação às espécies nativas, o que impede ou dificulta o desenvolvimento de tais estratégias.

2.5.1 Fatores que influenciam a germinação

O evento da germinação depende de vários fatores, internos (e.g. inibidores e promotores da germinação) e externos (e.g. temperatura, água e oxigênio), os quais podem atuar de forma isolada ou não (ATAÍDE; BORGES; LEITE FILHO, 2016). Além disso, a incidência de patógenos, como fungos e bactérias, também pode interferir na germinação de sementes e no desenvolvimento da plântula (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Outro fator que influencia é o substrato, visto que este está associado à disponibilidade de água, oxigênio e presença de microorganismos maléficos (NASCIMENTO et al., 2003), principalmente fungos.

2.5.1.1 Fatores exógenos

Levando-se em consideração sementes viáveis, maduras e quiescentes, as principais condições ambientais que influenciam no processo germinativo (porcentagem, tempo médio e velocidade de germinação) são temperatura, água, oxigênio e, às vezes, luz, as quais são discutidas a seguir.

2.5.1.1.1 Temperatura

A germinação de uma semente está associada a temperaturas denominadas cardeais: ótima, máxima e mínima, em que a primeira se refere a uma temperatura ou intervalo térmico no qual ocorre as maiores taxas de germinação em um intervalo de tempo relativamente curto; e nas duas últimas, não há germinação ou, quando sim, é muito baixa (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Silva e Cesarino (2014), avaliando a ecofisiologia da germinação da faveira (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard. – Fabaceae), uma espécie arbórea da Amazônia, determinaram as faixas de temperatura ótima, mínima e máxima, que foram 25-30 °C, 10-15 °C e 40 e 45 °C,

respectivamente. De acordo com Brancalion, Novembre e Rodrigues (2010), a faixa de temperatura ideal para germinação de espécies florestais pode variar em função de aspectos ecológicos e geográficos, como o grupo sucessional e a adaptação às condições edafoclimáticas da região na qual a espécie está inserida.

Temperaturas mais extremas, tanto baixas quanto altas, podem alterar processos físicos, fisiológicos e bioquímicos na germinação, reduzindo-a drasticamente. Ataíde, Borges e Leite Filho (2016), observaram que as temperaturas de 10 e 40 °C comprometeram a germinação de *Melanoxylon brauna* Schott, e associaram aos danos causados sobre o sistema de membranas e, ou, à produção de substâncias reativas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Conforme Sharma et al. (2012), a presença de substâncias reativas de oxigênio em grande quantidade pode resultar na peroxidação de lipídeos. Assim sendo, estruturas lipídicas das sementes, como a membrana plasmática – constituída de uma dupla camada fosfolipídica –, podem ser fragmentadas, ocasionando a morte das células.

A temperatura pode afetar, ainda, a velocidade da absorção de água e das reações químicas na semente, interferindo, portanto, na uniformidade e porcentagem da germinação (CASTRO; HILHORST, 2004). Assim sendo, conhecer a temperatura ou faixa térmica ótima para a germinação de sementes de espécies não-domesticadas é crucial para o manejo e conservação das plantas.

2.5.1.1.2 Água

No processo germinativo, a água desempenha papel fundamental, pois sua absorção contribui para o aumento do volume da semente, que favorece o enfraquecimento ou o rompimento do tegumento, e, dessa forma, facilita a emergência do eixo embrionário (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Sua ausência afeta a porcentagem, velocidade e uniformidade da germinação (TAIZ et al., 2017; MARCOS FILHO, 2015), enquanto que, quando presente em excesso, a água reduz a concentração de oxigênio, o que também é um fator limitante.

A absorção inicial de água pela semente, denominado embebição, desencadeia uma série de reações metabólicas que culmina na protrusão da radícula. O processo de embebição ocorre em padrão trifásico: Fase I – entrada de água na semente em função do potencial matricial e ativação da respiração e de rotas metabólicas; Fase II – não há ganho de massa e não há entrada de água em células que já estejam túrgidas; e, Fase III – ocorre a protrusão da raiz primária e ganho de massa pelo acúmulo de matéria fresca, este devido à divisão e crescimento celular, e

à entrada de água nas células (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A duração de cada fase e a taxa de absorção de água estão em função de alguns aspectos inerentes à semente, como permeabilidade do tegumento, vigor e o tamanho da semente, bem como das adversidades do ambiente (CORREIO; CORREIO; SILVA, 2017).

2.5.1.1.3 Oxigênio

Durante o processo germinativo das sementes a atividade respiratória da semente é crescente. Logo, a disponibilidade adequada de oxigênio é fundamental para o crescimento e desenvolvimento do embrião e da plântula, e depende das condições ambientais e da própria semente, visto que, por exemplo, a absorção de oxigênio pode ser limitada pelo excesso de umidade do meio e pelo tegumento (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Além de uma adequada capacidade de retenção de água, o substrato deve proporcionar boa aeração também (OLIVEIRA et al., 2016), para que a difusão de oxigênio atenda satisfatoriamente a demanda respiratória da semente durante a germinação. O tegumento, por sua vez, regula a entrada de oxigênio e água através da sua permeabilidade, a qual é muito restrita em determinadas famílias botânicas, notadamente em fabáceas tropicais (MEIRELLES; SOUZA, 2015), constituindo-se em sério problema para viveiristas (ABREU; PORTO; NOGUEIRA, 2017).

2.5.1.1.4 Luz

A germinação pode ou não depender da presença de luz, sendo que tal sensibilidade das sementes à luminosidade varia de espécie para espécie. Essa influência da luz sobre a germinação é denominada fotoblastismo, que é positivo quando a germinação depende da presença de luz; negativo, quando a germinação ocorre na ausência de luz, e neutro, quando a germinação é indiferente à luz (RIBEIRO et al., 2012).

O efeito da luz na germinação de algumas sementes se deve à presença do fitocromo, uma proteína que pode ser ativada com a luminosidade. Após a ativação do fitocromo, ocorre, por motivo ainda desconhecido, a liberação ou síntese de citocininas, que bloqueiam a ação de inibidores da germinação, permitindo que a giberelina – promotora da germinação – desempenhe várias funções nos tecidos da semente, favorecendo o processo germinativo (MARCOS FILHO, 2015; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; BRACCINI, 2011).

A sensibilidade das sementes à luminosidade, de modo geral, está intimamente associada aos aspectos ecofisiológicos das espécies vegetais. Espécies pioneiras apresentam

boas taxas de germinação quando expostas à luz direta, enquanto que as sementes de espécies de outros grupos ecológicos, como secundárias e climáx, germinam com maior eficiência quando submetidas à luz indireta (KAGEYAMA; VIANA, 1991), à sombra do dossel de floresta ombrófila densa, por exemplo.

2.5.1.2 Fatores endógenos

O balanço entre a presença de substância promotoras e inibidoras da germinação, a maturidade do embrião e a permeabilidade do tegumento são considerados os principais fatores internos da semente que afetam o processo germinativo, caracterizando, em geral, o fenômeno da dormência de sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Vários estudos são realizados a fim de conhecer e superar os diversos mecanismos envolvidos nesse processo de paralização ou inibição do crescimento e desenvolvimento do embrião, subsidiando, assim, programas de melhoramento genético, de reflorestamento e de recomposição da vegetação em áreas impactadas por atividades antrópicas.

2.6 Dormência de sementes

A semente que germina em condições adequadas de temperatura e disponibilidade de água e ar, é considerada quiescente. Por outro lado, quando uma semente viável e madura, ainda que em condições ambientais favoráveis, não consegue germinar em um tempo pré-determinado, ela é considerada dormente (BASKIN; BASKIN, 2004; VIVIAN et al., 2008). Sementes dormentes não germinam porque apresentam alguma restrição de natureza física, fisiológica ou morfológica (PINTO, 2013), que resulta, de modo geral, na paralização momentânea do crescimento e desenvolvimento do embrião (MOLIZANE, 2012). Todavia, Cardoso (2009), em uma revisão sobre conceitos e classificações de dormência, relata que a definição de dormência ainda precisa ser refinada, o que acontecerá partir do desenvolvimento de novas técnicas de investigação e da geração de conhecimentos mais específicos sobre os mecanismos envolvidos no fenômeno, especialmente à nível molecular.

A dormência pode ser primária ou secundária, diferenciando-se uma da outra pelo período no qual a dormência se desenvolve. Na primária, a dormência se instala durante na fase de desenvolvimento e maturação da semente; enquanto que na secundária, a dormência ocorre após a dispersão da semente, quando se aloca em regiões ambientalmente estressantes (ALVES; POLETTO; PASSOS, 2019). Esse mecanismo ocorre devido a fatores intrínsecos da

semente (e.g. embrião, endosperma e tegumento) e, ou, a estímulos do ambiente (e.g. luz, temperatura e umidade) durante ou após a sua formação (VIVIAN et al., 2008).

2.6.1 Tipos de dormência

Na literatura há algumas divergências quanto ao número e nomenclatura dos tipos de dormência existentes em sementes. Para efeito deste estudo, será adotado a classificação de Baskin e Baskin (2004), que consideram cinco tipos de dormência de sementes, a saber: fisiológica, morfológica, morfofisiológica, física e dormência combinada (dormência física mais fisiológica).

Conforme esses autores, na dormência fisiológica, é a presença de compostos inibidores ou ausência de substâncias promotoras que impede a germinação; na dormência morfológica, o embrião ainda se encontra imaturo; na dormência morfofisiológica, o embrião é imaturo e fisiologicamente dormente, este último por conta da presença ou ausência de determinadas substâncias; na dormência física, o tegumento ou o envoltório mais externo da semente é impermeável ou apresenta baixa permeabilidade à água, o que impede o enfraquecimento de tais tecidos e, por conseguinte, a protrusão da radícula; e por fim, na dormência combinada, a presença ou ausência de determinadas substâncias e a impermeabilidade do tegumento atuam juntas para evitar a germinação.

A dormência de sementes é uma estratégia evolutiva, desenvolvida em algumas espécies de plantas ao longo de milhares de anos, a fim de aumentar a probabilidade de dispersão, propagação, sobrevivência e perpetuação da espécie. Uma germinação lenta e desuniforme pode evitar que muitas ou todas as sementes ou plântulas morram, seja por competição por espaço, luz, água e nutrientes, seja por eventos climáticos catastróficos ou estressantes (ZAIDAN; BARBEDO, 2004).

Portanto, para as plantas a dormência de sementes representa uma vantagem bastante interessante, ao passo que para programas de reflorestamento e de recuperação de áreas degradadas, é considerada um gargalo a ser estudado e superado pela tecnologia de sementes e áreas afins, do ponto de vista do manejo das espécies de interesse e da erradicação das espécies exóticas ou invasoras.

2.6.2 Superação da dormência

A dormência pode ser superada naturalmente através da temperatura, fogo, ingestão por animais, incidência de microorganismos (SCREMIN-DIAS et al., 2006), bem como luz e a ação

do tempo, de modo que os agentes mais eficientes variam com a espécie vegetal e o tipo da dormência. Contudo, para aumentar a taxa de germinação e, assim, maximizar as chances de uniformizar o estande de plântulas, seja na sementeira direta no campo, seja na produção de mudas em casa de vegetação ou viveiros, torna-se necessário a intervenção do homem que, nas últimas décadas, desenvolveu várias metodologias com potencial para quebra de dormência de sementes de diversas espécies de interesse econômico, social e ambiental.

De acordo com Torres (2008), em condições de laboratório, a dormência fisiológica, quando causada pela presença de um inibidor, pode ser superada a partir da lavagem da semente ou retirada da sua casca/tegumento, desde que a substância restringente não esteja no embrião; quando presente no embrião, deve-se submeter as sementes a baixas temperaturas, as quais favorecem a degradação do inibidor, sendo este método denominado de estratificação (DEBSKA et al., 2013). A estratificação é indicada para quebrar a dormência fisiológica de sementes de forrageiras, hortaliças e espécies florestais e ornamentais (BRASIL, 2009).

Por outro lado, quando a dormência fisiológica se desenvolve devido à ausência de uma substância que induz a germinação, recomenda-se submeter as sementes à luminosidade e diferentes temperaturas, a fim de estimular a produção da substância promotora. Além disso, a aplicação de substâncias promotoras da germinação sobre as sementes também é uma alternativa bastante comum, a exemplo do nitrato de potássio (KNO_3) e do ácido giberélico (GA_3) (LIBÓRIO, 2015; REGO et al., 2018; DOMBROSKI et al., 2010).

A dormência fisiológica pode ser constatada em algumas plantas que ocorrem no Brasil, como nas espécies *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Lecythidaceae) (DIONISIO et al., 2019), *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunt., *B. verbascifolia* (L.) DC, *B. coccolobifolia* Kunth (Malpighiaceae) (BARBOSA, 2015), *Annona muricata* L. (Annonaceae) (REGO et al., 2018), *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) (DOMBROSKI et al., 2010), *Margaritaria nobilis* L. (Phyllanthaceae) (AGUSTINI et al., 2016), *Cecropia hololeuca* Miq (Cecropiaceae) (RODRIGUES FILHO, 2017), dentre outras.

O período de armazenamento é um dos métodos mais práticos e empregados para a superação de sementes com dormência morfológica (MARCOS FILHO, 2015), visto que possibilita o completo desenvolvimento do embrião da semente, que até então, se encontra subdesenvolvido. Esse tipo de dormência pode ser observado em *Annona crassiflora* Mart. (Annonaceae) (SILVEIRA, 2014) e em outras espécies da família Apiaceae e Liliaceae (VIVIAN et al., 2008).

Para quebrar a dormência morfofisiológica, utiliza-se métodos combinados de tratamentos pré-germinativos empregados na superação de dormência morfológica e

fisiológica, como período pós-maturação (armazenamento), aplicação de substâncias estimulantes, lavagem em água corrente, etc. As espécies *Annona cacans* Warm. (Annonaceae), *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) e *Curatella americana* L. (Dilleniaceae) são exemplos de plantas que possuem esse tipo de dormência (RODRIGUES FILHO, 2017).

De modo geral, a dormência física de semente pode ser superada a partir dos seguintes tratamentos pré-germinativos: imersão em água ou em ácido sulfúrico, seguida, neste caso, de lavagem das sementes em água corrente; escarificação mecânica ou química; despolimento do tegumento; dentre outros. Carvalho et al. (2019), avaliando métodos de superação da dormência física das sementes de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (Fabaceae), uma espécie pioneira que ocorre na Amazônia, concluíram que a escarificação mecânica foi o tratamento mais adequado, apresentando as maiores taxas de germinação e índice de velocidade de germinação.

A dormência física pode ser observada em várias espécies da floresta ombrófila densa (e.g. Amazônia e Mata Atlântica), como em *Xylopsia brasiliensis* Spreng., *X. frutescens* Aubl. (Annonaceae), *Bixa orellana* L. (Bixaceae), *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr., *Bauhinia fortificata* Link, *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blakee, *Sclerolobium densiflorum* Bentham, *Senna pendula* H. S. Irwin & Barneby, *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze, *Erythrina speciosa* Andrews (Fabaceae) e *Manilkara huberi* Chevalier (Sapotaceae) (RODRIGUES FILHO, 2017).

Tratamentos hormonais (e.g. ácido giberélico), escarificação mecânica ou ácida, imersão em água quente e estratificação a frio, são técnicas utilizadas geralmente de maneira combinada, no intuito de quebrar a dormência física-fisiológica (dormência combinada), sendo a última técnica, às vezes, suficiente para que a germinação ocorra (KOBORI; MASCARIN; CICERO, 2013). Esse tipo de dormência ocorre em algumas espécies pertencentes às famílias Anacardiaceae, Fabaceae, Geraniaceae, Rhamnaceae e Sapindaceae (KILDISHEVA et al., 2020).

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. C. A.; PORTO, K. G.; NOGUEIRA, A. C. Métodos de superação da dormência e substratos para germinação de sementes de *Tachigali vulgaris* LG Silva & HC Lima. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.
- ACCHILE, S. et al. Biometria de frutos e sementes e determinação da curva de absorção de água de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 5, p. 26-34, 2017.
- AGUIAR, F. F. A. et al. Influência do tamanho sobre a germinação de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 18, n. 2, p. 283–285, 1996.
- AGUSTINI, M. B. et al. Superação de dormência fisiológica em sementes de *Margaritaria nobilis* (Linnaeus). **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, n. 2, p. 14-19, 2016.
- ALMEDA, F.; MICHELANGELI, F. A.; VIANA, P. L. *Brasilianthus* (Melastomataceae), a new monotypic genus endemic to ironstone outcrops in the Brazilian Amazon. **Phytotaxa**, v. 273, p. 269-282, 2016.
- ALMEIDA, D. S. Legislação básica aplicada à recuperação ambiental. In: ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica** [online]. ed. 3, rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, p. 32-39, 2016.
- ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Dispersão e banco de sementes. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 226-235 p.
- ALVES, D. S.; POLETTO, R. S.; PASSOS, M. M. Dormência e germinação de sementes: uma proposta de ensino com evidências de aprendizagem. **Revista Ciências & Ideias**, v. 10, n. 3, p. 53-77, 2019.
- ALVES, E. U. et al. Influência do tamanho e da procedência de sementes *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 877-885, nov/dez. 2005.
- ARAÚJO, A.O.; CHAUTEMS, A. A new species of *Sinningia* (Gesneriaceae) and additional floristic data from Serra dos Carajás, Pará, Brazil. **Phytotaxa**, v. 227, p. 158-166, 2015.
- ARAÚJO, K. V.; MOTA, D. A.; DOBBSS, L. B. Escarificação ácida na superação de dormência de *Enterolobium schomburgkii*. **Agri-Environmental Sciences**, v. 4, n. 2, p. 16-23, 2019.
- ARAÚJO, R. N.; SOUSA, M. J. **Área de Relevante Interesse Mineral, Província Mineral de Carajás, PA: estratigrafia e análise do minério de Mn de Carajás**. Serviço Geológico do Brasil: Informe de recursos minerais (série Províncias Minerais do Brasil, n. 16). Belém-PA, 2018.

ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; LEITE FILHO, A. T. Alterações fisiológicas e biométricas em sementes de *Melanoxylon brauna* Schott durante a germinação em diferentes temperaturas. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 61-70, 2016.

BARBOSA, C. Z. R. Pirênios e plântulas de três espécies de Malpighiaceae de uma savana amazônica: aspectos morfológicos e tecnológicos. 2015. 77 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2015.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2014. 1586 p.

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, p. 1-16, 2004.

BERTO, T. S. et al. Biometria de sementes de sapoti (*Manilkara zapota* L.). **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, p. 8890, 2020.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BEZERRA, F. T. C. et al. Biometria de frutos e sementes e tratamento os pré-germinativos em *Cassia fistula* L. (Fabaceae-Caesalpinioideae). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2273-2286, 2014.

BRACCINI, A. L. Banco de sementes e mecanismos de dormência em sementes de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, p. 37-66, 2011.

BRANCALION, P. H. S.; NOVENBRE, A. D. L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p.15-21, 2010.

BRASIL. Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018. Novo Código de Mineração: dispõe sobre a regulamentação do Decreto-Lei nº 227/67, a Lei nº 6.567/78, a Lei nº 7.805/89, e a Lei nº 13.575/17. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Ed. 122, Brasília, DF, 13 de jun. 2018.

BRASIL. Decreto Nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, 12 abr. 1989.

BRASIL. Lei N.º 9.985 - 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 18 Jul 2000.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Crimes Ambientais: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, 13 de fev. 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regras para análise de sementes**. Brasília-DF: assessoria de Comunicação Social, 2009. 399 p.

- CABRAL, E. L.; MIGUEL, L. M.; VIANA, P. L. Two new species of *Borreria* (Rubiaceae) from Brazil, with new distributional records for Pará state and a key to species with transversally sulcate seeds. **Annales Botanici Fennici**, v. 49, p. 209-215, 2012.
- CAMILLO, J. Germinação e conservação de germoplasma de algodão-do-campo [*Cochlospermum regium* (Mart. ex Schrank) Pilger] - Cochlospermaceae. 2008. 95 p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília-DF, 2008.
- CARDOSO, V. J. M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 4, p. 619-631, 2009.
- CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais. Belo Horizonte, MG: 3i Editora, v. 1, 2015.
- CARRIJO, N. S. et al. Germinação e caracterização física e morfológica de frutos e sementes de *Syagrus oleracea* Becc. 2011. 81 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, 2011.
- CARVALHO, B. S. et al. Análises física e fisiológica de sementes de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg e *Eugenia involucrata* DC. (Myrtaceae) em diferentes temperaturas e substratos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-7, 2020.
- CARVALHO, M. B. F. et al. Métodos de superação de dormência da *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 1, p. 490-500, 2019.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CASTRO, R. D.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. *In*: A.G. FERREIRA; F. BORGHETTI (eds.). **Germinação**: do básico ao aplicado. Porto Alegre, Artmed. p. 149-162, 2004.
- CIPRIANI, V. B.; GARLET, J.; LIMA, B. M. Quebra de dormência em sementes de *Chloroleucon acacioides* e *Senna macranthera*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 49-54, 2019.
- CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L. Ecologia e regeneração em áreas escavadas. *In*: CORRÊA, R. S.; MELLO FILHO, B. (Eds.). **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília, DF: Paralelo 15, p. 29-48, 1998.
- CORREIO, D. L. R.; CORREIO, H. M. L.; SILVA, E. R. Embebição e germinação de sementes de cenoura condicionadas fisiologicamente sob condições ambientais adversas. **Revista Científica Rural**, v. 19, n. 2, p. 205-216, 2017.
- DEBSKA, K. et al. Dormancy removal of apple seeds by cold stratification is associated with fluctuation in H₂O₂, NO production and protein carbonylation level. **Journal of Plant Physiology**, Warsaw, v. 170, n. 5, p. 480-488, 2013.

DIONISIO, L. F. S. et al. Produção de mudas de *Bertholletia excelsa* em resposta a origem da semente e posição no interior do fruto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 14, n. 3, p. 5662, 2019.

DITTRICH, V. A. O.; SALINO, A.; ALMEIDA, T. E. Two new species of the fern genus *Blechnum* with partially anastomosing veins from Northern Brazil. **Systematic Botany**, v. 37, n. 1, p. 38-42, 2012.

DOMBROSKI, J. L. D. et al. Métodos para a superação da dormência fisiológica de *Caryocar brasiliense* Camb. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 131-135, 2010.

DRESCH, D. M. et al. Germinação e vigor de sementes de gabioba em função do tamanho do fruto e semente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 262-271, 2013.

FARIAS, C. E. G. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório do CGEE/PNUD**, v. 76, p. 2, 2002.

FERREIRA, L. V. et al. The effect of exotic grass *Urochloa decumbens* (Stapf) RD Webster (Poaceae) in the reduction of species richness and change of floristic composition of natural regeneration in the Floresta Nacional de Carajás, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 589-597, 2016.

GASTAUER, M. et al. Mine land rehabilitation in Brazil: Goals and techniques in the context of legal requirements. **Ambio**, v. 48, n. 1, p. 74-88, 2019.

GONÇALVES, E. G.; ARRUDA, A. J. *Philodendron carajasense* sp. nov. (Araceae), a rheophyte from Carajás Mountain Range, northern Brasil. **Nordic Journal of Botany**, v. 32, p. 536-539, 2013.

GUERRA, M. E. C., MEDEIROS FILHO, S.; GALLAO, M. I. Morfologia de sementes, de plântulas e da germinação de *Copaifera langsdorfii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Cerne**, v. 12, n. 4, p. 322-328, 2006.

HIRATA, W. K. et al. Geologia regional da província mineral de Carajás. *In*: simpósio de geologia da Amazônia, 1, Belém, 1982. **Anais ... Belém-PA: Sociedade Brasileira de Geologia: Núcleo Norte**, v.1, p. 100-110, 1982.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás**: diagnóstico. STCP Engenharia e Projetos Ltda., v. 1, Brasília-DF, 2016.

ISA – Instituto Socioambiental. Unidades de conservação do Brasil: Floresta Nacional de Carajás. 2020. Acesso em: 21 Out 2020. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/1330>

JACOBI, C. M. et al. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 2185-2200, 2007.

KAGEYAMA, P. Y.; VIANA, V. M. Tecnologia de sementes e grupos ecológicos de espécies arbóreas tropicais. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA DE SEMENTES FLORESTAIS*, 2., 1989, Atibaia. **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1991. p. 197-215.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Recuperação e conservação de ecossistemas tropicais. *In: CULLEN, J. R. et al. (Eds.). Métodos de estudo em Biologia da Conservação & Manejo da vida silvestre*. Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à natureza, UFPR, p. 383-394, 2004.

KILDISHEVA, O. A. et al. Dormancy and germination: making every seed count in restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 3, p. 256–265, 2020.

KOBORI, N. N.; MASCARIN, G. M.; CICERO, S. M. Métodos não sulfúricos para superação de dormência de sementes de mucuna-preta (*Mucuna aterrima*). **Informativo ABRATES**. v. 23, n. 1, 2013.

LIBÓRIO, C. B. Sementes de *Brachiaria humidicola* cv. BRS Tupi: Causas da dormência e efeitos de nitrato de potássio e de ácido giberélico na superação. 2015. 52 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde-GO, 2015.

MACEDO, M. C. et al. Biometria de frutos e sementes e germinação de *Magonia pubescens* St. Hil. (Sapindaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 202-211, 2009.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina-PR: ABRATES, 2015. 659 p.

MEIRELLES, A. C.; SOUZA, L. A. G. Germinação natural de oito espécies de *Swartzia* (Fabaceae, Faboideae) da Amazônia. **Scientia Amazonia**, v. 4, n. 3, p. 84-92, 2015.

MOLIZANE, D. M. Estabelecimento e superação de dormência em sementes de *Erythrina speciosa* Andrews. 2012. 77 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOTA, N. F. O. et al. Amazon canga: the unique vegetation of Carajás revealed by the list of seed plants. **Rodriguésia**, v. 69, n. 3, p. 1435-1488, 2018.

MOURA, D. J. Recuperação de áreas degradadas pela Mineração. 2015. **Monografia** (Graduação em Tecnologia na Mineração) – Universidade Federal de Goiás, Niquelândia- GO, 2015.

NASCIMENTO, W. M. O. et al. Temperatura e substrato para a germinação de sementes de *Parkia platycephala* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). **Revista Agropecuária Tropical**, Cuiabá, v. 7, n. 1, p. 119-129, 2003.

NASCIMENTO, I. L. et al. Superação da dormência em sementes de Faveira (*Parkia platycephala* Benth). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.35-45, 2009.

NEVES, Maria Inajal R. S. et al. Morphometric Characterization and Seed Dormancy Overcoming of *Sapindus saponaria* L. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 7, 2018.

- OLIVEIRA, F. N. et al. Temperaturas e substratos na germinação de sementes de pereiro-vermelho (*Simira gardneriana* MR Barbosa & Peixoto). **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 658-666, 2016.
- PEREIRA, J. B. S. et al. Two new species of *Isoetes* (Isoetaceae) from northern Brazil. **Phytotaxa**, v. 272, p. 141-148, 2016.
- PINEDO, G. J. V.; FERRAZ, I. D. K. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [Benth ex Walp]: sementes com dormência física de árvore da Amazônia. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 39-49, 2008.
- PINTO, M. G. C. et al. Biometria de sementes e frutos de *Poincianella pyramidalis* (Tul.) LP Queiroz. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 74-83, 2020.
- PINTO, T. T. Morfoanatomia e fisiologia de sementes com dormência física de *Colubrina glandulosa* Perkins (Rhamnaceae) e *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Caesalpinioideae - Fabaceae). 2013. 71 f. **Dissertação** (Mestrado em Biologia de fungos, algas e plantas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. AGIPLAN: Ministério da Agricultura, Brasília-DF, 1985.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra de Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p. 13-21, 1989.
- RAMOS, S. J. et al. Native leguminous plants for mineland revegetation in the eastern Amazon: seed characteristics and germination. **New Forests**, v. 50, n. 5, p. 859-872, 2019.
- RAYOL, B. P. Análise florística e estrutural da vegetação xerofítica das savanas metalófilas na Floresta Nacional de Carajás: subsídios à conservação. 2006. 74 f. **Dissertação** (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2006.
- REGO, C. H. Q. et al. Ácido giberélico auxilia na superação da dormência fisiológica e expressão de vigor das sementes de graviola. **Journal of neotropical agriculture**, v. 5, n. 3, p. 83-86, 2018.
- RIBEIRO, B. A. L.; ALMEIDA, J. R.; NUNES, M. F. S. Q. C. Impactos ambientais da mineração no estado do Pará, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, v. 8, 2019, Três Rios. **Anais... Três Rios: UFRRJ**, 2019.
- RIBEIRO, E. B. et al. Germinação de diferentes linhagens de sorgo em resposta ao fotoblastismo. In: Livro de atas do XXIX Congresso Nacional de milho e sorgo, Águas de Lindóia, São Paulo. 2012. **Anais... Águas de Lindóia-SP: ABMS**, 2012.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos**. v. 2. Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia, São Paulo, 1979. 374 p.

- RODRIGUES FILHO, J. Dormência em espécies arbóreas de dois biomas brasileiros. 2017. 85 f. **Dissertação** (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.
- SALAS, R. M. et al. *Carajasia* (Rubiaceae), a new and endangered genus from Carajás mountain range, Pará, Brazil. **Phytotaxa**, v. 206, p. 14-29, 2015.
- SALINO, A.; ARRUDA, A. J.; ALMEIDA, T. E. Ferns and lycophytes from Serra dos Carajás, an Eastern Amazonian mountain range. **Rodriguésia**, v. 69, n. 3, p. 1417-1434, 2018.
- SALOMÃO, A. N. et al. (Org.). **Germinação de sementes e produção de mudas de plantas do Cerrado**. Brasília-DF: Rede de sementes do Cerrado, 2003.
- SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C. Dynamics of natural tree regeneration after strip-mining in the Amazon. **Bol Mus Para Em Goeldi Cien Nat**, v. 2, n. 2, p. 85-139, 2007.
- SANTOS, A. A. S. S. Liofilização como alternativa para superação de dormência em sementes de cinco espécies florestais. 2018. 57 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM, 2018.
- SCREMIN-DIAS, E. et al. **Manual de Produção de mudas de espécies florestais nativas**. Campo Grande: EDITORA UFMS, 2006. 62p.
- SECCO, R. S.; MESQUITA, A. L. **Nota sobre a vegetação de canga da Serra Norte. I**. Boletim Paraense Emílio Goeldi, Nova Série Botânica, n. 59, p. 1-13, 1983.
- SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, p.1-26, 2012.
- SILVA, A. R. B. **Mineração na escola**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.
- SILVA, B. M. S.; CESARINO, F. Germinação de sementes e emergência de plântulas de faveira (*Clitoria fairchildiana* R.A. Howard. – FABACEAE). **Biota Amazônia**, v. 4, n. 2, p. 9-14, 2014.
- SILVA, J. M. P. et al. Conflitos pelo uso do território na amazônia mineral. **Mercator**, v. 16, 2017.
- SILVA, M. A. Arranjos político-institucionais: a criação de novos municípios, novas estruturas de poder e as lideranças locais - a divisão territorial de Marabá na década de 1980. 188 f. **Tese** (Doutorado em Ciências: desenvolvimento social) – Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2006.
- SILVEIRA, P. S. Estudos fisiológicos e moleculares durante a superação da dormência morfológica de sementes de *Annona crassiflora*. 2014. 131 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu-SP, 2014.
- SKIRYCZ, A. et al. Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 653, 2014.

SOUZA, E. R. B. et al. Efeito de métodos de escarificação do tegumento em sementes de *Leucaena diversifolia* L. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 142-146, 2007.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. ed. 6, 2017. 731 p.

TER STEEGE, H. et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, 2013.

TILSTONE, G. H. et al. The growth of multipurpose tree species in the Almeria province of Spain and its relationship to native plant communities. **International Tree Crops Journal**, v. 9, n. 4, p. 247-259, 1998.

TORRES, I. C. Presença e tipos de dormência em sementes de espécies arbóreas da floresta ombrófila densa. 2008. 65 f. **Dissertação** (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2008.

VIANA, P. L. et al. Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. **Rodriguésia**, v. 67, n. 5, 2016.

VIANA, P. L.; LOMBARDI, J. A. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 1, p. 157-177, 2007.

VIVIAN, R. et al. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência: breve revisão. **Planta daninha**, v. 26, n. 3, p. 695-706, 2008.

ZAIDAN, L. B. P.; BARBEDO, C. J. Quebra da dormência em sementes. *In*: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação – do básico ao aplicado**. Artmed, Porto Alegre. p. 135-146, 2004.

ZAPPI, D. C. **Paisagens e plantas de Carajás/Landscapes and plants of Carajás**. Belém: Instituto Tecnológico Vale, 2017. 248 p.

ZAPPI, D. C. et al. **Plantas Nativas Para Recuperação de Áreas de Mineração em Carajás**. Belém: Instituto Tecnológico Vale, 2018.

3 BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE ESPÉCIES VEGETAIS NATIVAS DE CARAJÁS VISANDO A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

3.1 Metodologia

3.1.1 Material vegetal

As sementes de espécies nativas foram coletadas na FLONA Carajás pela COEX-Carajás, cooperativa local que efetua a coleta de sementes de espécies nativas na região. As sementes foram colocadas e armazenadas em sacos de papel em câmara de sementes sob baixa temperatura (4-10 °C) e umidade do ar (25%). Foram obtidas sementes de 39 espécies, distribuídas em 17 famílias e em três hábitos de crescimento (Tabela 1). Todas as espécies compõem o mix de sementes nativas do programa de recuperação de áreas da mineração de ferro na FLONA Carajás, sendo utilizadas conforme a disponibilidade de sementes, a qual pode variar bastante entre os anos.

Tabela 1. Relação das 39 espécies vegetais nativas da FLONA Carajás analisadas, com seus respectivos hábitos de crescimento, família e nomes populares.

Hábito	Família	Espécie	Nome popular
Herbáceo	Melastomataceae	<i>Brasilianthus carajensis</i>	NE
	Fabaceae	<i>Dioclea apurensis</i>	Cipó olho-de-boi, coroanha
		<i>Mimosa pudica</i>	Dormideira, não-me-toques
		<i>Mimosa skinneri</i>	Mimosa-da-canga
		<i>Mimosa somnians</i>	Dormideira
		<i>Monogereion carajensis</i>	Pegajosa-lilás
	Asteraceae	<i>Rhynchospora barbata</i>	Tiririca
	Cyperaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	Cordão-de-frade, erva-botão
	Rubiaceae	<i>Trachypogon spicatus</i>	Capim-carona, capim-redondo
	Poaceae	<i>Trichantheium rivale</i>	NE
		<i>Xyris brachysepala</i>	NE
		<i>Xyris macrocephala</i>	NE
	Arbustivo	Opilaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i>
Bignoniaceae		<i>Anemopaegma scabriusculum</i>	NE
Fabaceae		<i>Bauhinia longipedicellata</i>	Pata-de-vaca, unha-de-boi
		<i>Bauhinia pulchella</i>	Pata-de-vaca-miúda
		<i>Chamaecrista desvauxii</i>	Rabo-de-pitu, erva-de-coração
		<i>Chloroleucon acacioides</i>	Esponjeira, jurema branca
		<i>Crotalaria maypurensis</i>	Xique-xique, guizo-de-cascavel
Lythraceae		<i>Cuphea carajasensis</i>	Sete-sangrias-da-canga
Asteraceae		<i>Lepidaploa arenaria</i>	NE
Fabaceae		<i>Mimosa camporum</i>	Malícia
		<i>Mimosa setosa</i>	Sansão preto
Rutaceae		<i>Pilocarpus microphyllus</i>	Jaborandi
Fabaceae		<i>Senna occidentalis</i>	Fedegoso
Malvaceae		<i>Sida rubifolia</i>	NE

	Solanaceae	<i>Solanum crinitum</i>	Lobeira-da-mata, Jurubeba
		<i>Solanum viarum</i>	Joá-bravo
	Velloziaceae	<i>Vellozia glochidea</i>	Canela-de-ema
Arbóreo	Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i>	Pau-jangada, pente-de-macaco
	Fabaceae	<i>Bauhinia platypetala</i>	Pata-de-vaca
	Malpighiaceae	<i>Byrsonima stipulacea</i>	Murici, murici-da-mata
	Vochysiaceae	<i>Callisthene minor</i>	Pau-de-pilão
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro-cheiroso, cedro-do-brejo
	Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	Orelha-de-macaco, fava-de-rosca
		<i>Parkia multijuga</i>	Fava-arara, visgueiro
		<i>Parkia pendula</i>	Angico, faveira-de-chorão
		<i>Parkia platycephala</i>	Faveira-de-bolota, visgueiro
		<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	Falso-barbatimão, timbaúba

NE = não encontrado ou não existe.

Fonte: autor

3.1.2 Biometria, germinação e quebra de dormência de sementes

O comprimento, largura e espessura das sementes foram aferidos em 20 sementes de cada espécie com auxílio de um paquímetro digital (0,01 mm. Para a mensuração da massa de 100 sementes, pesou-se quatro repetições de 25 sementes em balança analítica de precisão (0,0001 mg).

Os testes de germinação de sementes foram realizados em câmaras de cultivo de plantas tipo Fitotron (SGC120, Weiss Technik, UK) a 25 °C com irradiância de 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com fotoperíodo de 12:12 h. O número de sementes germinadas foi registrado diariamente durante 30 dias, conforme o manual de Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), sendo a germinação definida como a protrusão e emissão da radícula de 2 mm. O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado conforme recomendado por Maguire (1962): $IVG = G_1/N_1 + G_2/N_2 + \dots + G_n/N_n$, em que, G_1, G_2, \dots, G_n é igual ao número de sementes germinadas, e N_1, N_2, \dots, N_n correspondem ao número de dias após a semeadura.

As sementes de espécies que apresentaram taxa de germinação inferior, igual ou próxima de 60 %, foram submetidas a métodos de superação de dormência, conforme a espessura do tegumento e disponibilidade de sementes (Tabela 2). Os métodos de escarificação aplicados foram (1) mecânico: escarificação com lixa; (2) água fervente: imersão em água a uma temperatura de 100 °C por 5 min, seguida de resfriamento à temperatura ambiente; (3) imersão em ácido sulfúrico 90% (H_2SO_4) por 7 min, seguida de lavagem com água corrente abundante. Das 39 espécies avaliadas, sementes de 22 espécies, todas de tegumento espesso, sofreram escarificação mecânica, ao passo que sementes de 10 espécies foram submetidas a escarificação ácida e escarificação em água quente.

Tabela 2. Lista de espécies vegetais nativas da FLONA Carajás analisadas e seus respectivos tratamentos pré-germinativos, conforme os resultados da taxa de germinação aferidos no estudo e disponibilidade de sementes.

Hábito	Família	Espécie	EM	EA	EAQ
Herbáceo	Melastomataceae	<i>Brasilianthus carajensis</i>			
	Fabaceae	<i>Dioclea apurensis</i>	X	X	X
		<i>Mimosa pudica</i>		X	X
		<i>Mimosa skinneri</i>	X		
		<i>Mimosa somnians</i>	X		
		<i>Monogereion carajensis</i>	X		
	Asteraceae	<i>Rhynchospora barbata</i>	X		
	Cyperaceae	<i>Spermacoce verticillata**</i>			
	Rubiaceae	<i>Trachypogon spicatus</i>			
	Poaceae	<i>Trichantheicum rivale</i>			
	Xyridaceae	<i>Xyris brachysepala</i>			
		<i>Xyris macrocephala</i>			
Arbustivo	Opilaceae	<i>Agonandra brasiliensis*</i>	X		
	Bignoniaceae	<i>Anemopaegma scabriusculum**</i>			
	Fabaceae	<i>Bauhinia longipedicellata*</i>	X	X	X
		<i>Bauhinia pulchella</i>	X	X	X
		<i>Chamaecrista desvauxii</i>	X		
		<i>Chloroleucon acacioides</i>	X		
		<i>Crotalaria maypurensis</i>			
	Lythraceae	<i>Cuphea carajasensis**</i>			
	Asteraceae	<i>Lepidaploa arenaria</i>			
	Fabaceae	<i>Mimosa camporum</i>	X	X	X
		<i>Mimosa setosa</i>	X		
	Rutaceae	<i>Pilocarpus microphylus</i>		X	X
	Fabaceae	<i>Senna occidentalis</i>	X		
	Malvaceae	<i>Sida rubifolia</i>			
	Solanaceae	<i>Solanum crinitum*</i>	X	X	X
	Solanaceae	<i>Solanum viarum</i>	X		
	Velloziaceae	<i>Vellozia glochidea**</i>			
Arbóreo	Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i>	X	X	X
	Fabaceae	<i>Bauhinia platypetala</i>	X		
	Malpighiaceae	<i>Byrsonima stipulacea</i>	X		
	Vochysiaceae	<i>Callisthene minor</i>			
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>			
	Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	X		
		<i>Parkia multijuga</i>			
		<i>Parkia pendula</i>	X		
		<i>Parkia platycephala</i>	X	X	X
		<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	X	X	X

*espécies que apresentaram taxas de germinação igual ou um pouco acima de 60 % e foram submetidas a testes de superação de dormência. **espécies que por apresentarem taxas de germinação muito superior a 60 %, não precisaram de testes pré-germinativos. Para as demais espécies com baixa taxa de germinação, não foram realizados testes pré-germinativos devido quantidade insuficiente de material vegetal. **EM** = escarificação mecânica; **EA** = escarificação ácida; e, **EAQ** = escarificação em água quente.

Fonte: o autor.

Após os tratamentos de escarificação, as sementes foram imersas em solução de hipoclorito de sódio a 1% por 3 min para garantir a esterilidade da superfície e, em seguida, lavadas em água estéril por 1 min.

3.1.3 Análise estatística

A análise do tamanho e massa de sementes baseou-se em estatística descritiva básica: média e desvio-padrão. Para a comparação de tratamentos de superação de dormência, realizou-se a análise de variância em relação aos dados de porcentagem de germinação (PG) transformados em $\text{arc sen}(\sqrt{\text{PG}/100})$. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste *post-hoc* de Tukey HSD a 5 % de probabilidade. Adicionalmente, foi calculado a correlação o coeficiente de correlação não-paramétrico de Spearman (ρ) entre as variáveis de biometria e germinação de sementes. As análises foram realizadas no ambiente de programação R com o auxílio do software RStudio 1.3.1 (R Development Core Team, 2020).

3.2 Resultados e discussão

3.2.1 Características morfológicas da semente

O tamanho e a massa das sementes apresentaram grande variação entre as espécies avaliadas (Tabela 3). O maior comprimento e a maior massa foram obtidos para a espécie de hábito arbóreo *Parkia multijuga* (C = 45,8 mm; M = 373,33 g). Por outro lado, sementes muito pequenas, com comprimento e massa de 100 sementes inferior a 0,5 mm e 1 g, respectivamente, foram observadas em 11 espécies, sendo sete herbáceas e quatro arbustivas. Em relação as demais variáveis, a maior largura e espessura foram constatadas, respectivamente, em *Anemopaegma scabriusculum* (L = 22,34 mm) e *Agonandra brasiliensis* (E = 15,9 mm), ambas de hábito arbustivo. Essas informações contribuem para identificar e diferenciar as espécies; e, compreender suas estratégias de dispersão (ARAÚJO et al., 2004; SILVA; MÔRO, 2008), favorecendo, assim, o manejo mais eficiente das espécies nativas, em relação, por exemplo, à coleta de sementes e à seleção de espécies a serem utilizadas na recuperação de áreas degradadas na FLONA Carajás.

O presente estudo também mostrou desvio-padrão relativamente elevado para o tamanho da semente para algumas espécies, destacando as espécies *Mimosa skinneri*, *Rhynchospora barbata*, *Trichantheicum rivale*, *Bauhinia pulchella*, *Chamaecrista desvauxii*, *Lepidaploa arenaria*, *Mimosa camporum*, *Solanum viarum* e *C. odorata* (Tabelas 1). Essa

variação pode estar associada a variabilidade genética da espécie ou a fatores ambientais, como temperatura e umidade, durante o período de crescimento ou armazenamento, podendo impactar negativamente o vigor da semente. De modo geral, espécies nativas não melhoradas apresentam grande diversidade genética, a qual pode resultar em diferentes morfologias da semente (PANTOJA, 2007; SOUZA et al., 2013). Ambientes megadiversos, i.e., com diferentes condições edafoclimáticas, como o bioma Amazônia, também podem influenciar a produção de sementes, em relação à quantidade, tamanho, viabilidade e capacidade germinativa (SANTOS et al., 2020; ZANETTI et al., 2020). Nesse cenário, algumas espécies se adaptam a fim de aumentar seu desempenho germinativo, em que determinadas espécies investem na produção de sementes em maior quantidade (SOUZA FILHO et al., 2001), enquanto outras optam por estratégias diferentes, como a produção de sementes que germinam apenas em períodos específicos (dormência) (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Tabela 3. Média de comprimento (C), largura (L), espessura (E) e massa (M) de sementes de 39 espécies nativas da FLONA Carajás, Brasil.

Hábito	Família	Espécies	C (mm)	L (mm)	E (mm)	M (g)
Herbáceo	Melastomataceae	<i>Brasilianthus carajasensis</i>	0,07 ± 0,004	0,05 ± 0,003	0,04 ± 0,002	0,006 ± 0,001
	Fabaceae	<i>Dioclea apurensis</i>	9,68 ± 0,888	6,36 ± 0,409	3,48 ± 0,287	16,76 ± 0,322
		<i>Mimosa pudica</i>	2,65 ± 0,250	2,27 ± 0,194	1,27 ± 0,184	0,45 ± 0,013
		<i>Mimosa skinneri</i>	3,95 ± 0,408	2,95 ± 0,347	1,24 ± 0,280	0,76 ± 0,048
		<i>Mimosa somnians</i>	4,31 ± 0,276	2,95 ± 0,247	1,30 ± 0,268	0,99 ± 0,030
		<i>Monogereion carajensis</i>	0,28 ± 0,032	0,06 ± 0,002	0,01 ± 0,002	0,007 ± 0,001
	Cyperaceae	<i>Rhynchospora barbata</i>	0,25 ± 0,085	0,09 ± 0,050	0,05 ± 0,012	0,01 ± 0,001
	Rubiaceae	<i>Spermacoce verticillata</i>	0,11 ± 0,010	0,04 ± 0,004	0,03 ± 0,005	0,01 ± 0,001
	Poaceae	<i>Trachypogon spicatus</i>	4,31 ± 0,149	1,97 ± 0,429	0,95 ± 0,140	0,032 ± 0,001
		<i>Trichantheium rivale</i>	0,12 ± 0,026	0,07 ± 0,006	0,05 ± 0,006	0,017 ± 0,002
	Xyridaceae	<i>Xyris brachysepala</i>	0,07 ± 0,006	0,03 ± 0,004	0,03 ± 0,005	0,004 ± 0,001
		<i>Xyris macrocephala</i>	0,06 ± 0,004	0,03 ± 0,002	0,03 ± 0,001	0,002 ± 0,001
	Arbustivo	Opilaceae	<i>Agonandra brasiliensis</i>	18,21 ± 1,062	15,95 ± 1,390	15,93 ± 1,359
Bignoniaceae		<i>Anemopaegma scabriusculum</i>	22,34 ± 4,062	22,17 ± 2,249	1,86 ± 0,629	3,69 ± 0,092
Fabaceae		<i>Bauhinia longipedicellata</i>	10,09 ± 1,182	7,23 ± 0,840	2,41 ± 0,260	12,66 ± 0,759
		<i>Bauhinia pulchella</i>	4,20 ± 0,668	3,40 ± 0,372	1,25 ± 0,305	4,26 ± 0,139
		<i>Chamaecrista desvauxii</i>	0,43 ± 0,043	0,18 ± 0,024	0,10 ± 0,022	0,44 ± 0,024
		<i>Chloroleucon acacioides</i>	4,99 ± 0,347	3,80 ± 0,282	2,08 ± 0,162	2,50 ± 0,069
		<i>Crotalaria maypurensis</i>	4,86 ± 0,308	3,69 ± 0,170	1,78 ± 0,075	1,97 ± 0,051
		<i>Cuphea carajasensis</i>	0,06 ± 0,002	0,05 ± 0,002	0,03 ± 0,002	0,005 ± 0,001
Asteraceae		<i>Lepidaploa arenaria</i>	0,37 ± 0,059	0,07 ± 0,015	0,06 ± 0,014	0,08 ± 0,001
Fabaceae		<i>Mimosa camporum</i>	2,80 ± 0,190	2,31 ± 0,196	1,15 ± 0,243	0,39 ± 0,012
		<i>Mimosa setosa</i>	3,41 ± 0,292	2,22 ± 0,228	1,54 ± 0,159	1,95 ± 0,189
Rutaceae		<i>Pilocarpus microphylus</i>	6,33 ± 0,571	4,58 ± 0,575	4,45 ± 0,399	4,38 ± 0,247

	Fabaceae	<i>Senna occidentalis</i>	4,50 ± 0,349	3,32 ± 0,396	1,77 ± 0,232	1,62 ± 0,027
	Malvaceae	<i>Sida rubifolia</i>	0,17 ± 0,019	0,11 ± 0,018	0,09 ± 0,014	0,07 ± 0,005
	Solanaceae	<i>Solanum crinitum</i>	3,96 ± 0,247	3,38 ± 0,271	1,30 ± 0,126	0,99 ± 0,019
		<i>Solanum viarum</i>	4,19 ± 0,232	3,40 ± 0,208	1,26 ± 0,486	0,91 ± 0,069
	Velloziaceae	<i>Vellozia glochidea</i>	2,13 ± 0,331	1,67 ± 0,232	1,43 ± 0,381	0,11 ± 0,004
Arbóreo	Malvaceae	<i>Apeiba tibourbou</i>	2,82 ± 0,300	2,16 ± 0,285	0,99 ± 0,153	0,38 ± 0,013
	Fabaceae	<i>Bauhinia platypetala</i>	8,09 ± 0,544	6,07 ± 0,567	1,86 ± 0,261	7,10 ± 0,186
	Malpighiaceae	<i>Byrsonima stipulacea</i>	14,49 ± 0,878	11,63 ± 0,904	11,44 ± 1,028	59,66 ± 0,464
	Vochysiaceae	<i>Callisthene minor</i>	10,00 ± 0,988	7,56 ± 0,767	7,50 ± 0,645	17,04 ± 0,309
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	36,93 ± 2,795	13,92 ± 1,676	1,12 ± 0,808	3,26 ± 0,087
	Fabaceae	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	7,34 ± 0,504	4,64 ± 0,346	2,60 ± 0,178	5,79 ± 0,210
		<i>Parkia multijuga</i>	45,79 ± 5,077	11,99 ± 1,178	8,99 ± 0,822	373,33 ± 4,457
		<i>Parkia pendula</i>	9,71 ± 0,493	5,61 ± 0,468	2,84 ± 0,166	10,37 ± 0,148
<i>Parkia platycephala</i>		7,79 ± 0,515	5,09 ± 0,514	3,46 ± 0,395	9,16 ± 0,198	
		<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>	6,90 ± 0,338	4,68 ± 0,369	3,44 ± 0,320	7,14 ± 0,103

Os valores de média são seguidos do desvio-padrão (n = 20 para C, L e E; e, n = 4 replicatas de 25 sementes para M).

Os diferentes tamanhos e massas das sementes observados entre as espécies nativas se deve às particularidades da genética de cada táxon (PANTOJA, 2007) e a fatores biológicos, como ciclo de vida, e a fatores ecológicos, como hábito de crescimento, estágio de sucessão ecológica e estratégias de dispersão e sobrevivência. Levando-se em consideração que a massa da semente está diretamente correlacionada com o tamanho (volume) da semente (ver figura 8), observou-se que as espécies arbóreas apresentaram sementes maiores, quando comparadas a espécies herbáceas ou arbustivas (Figura 2-A), ou seja, o tamanho da semente tende a ser proporcional ao porte da planta. Diferentes estratégias ecológicas em relação à síndrome de dispersão, por sua vez, também parecem estar relacionadas com o tamanho da semente. Por exemplo, as sementes pequenas são, frequentemente, dispersas pelo vento (anemocoria), como constatado em *Brasilianthus carajasensis* (C = 0,07 mm, tabela 3) (FURTADO et al., 2017), enquanto que sementes maiores são distribuídas no espaço por animais (zoocoria), a exemplo de *B. stipulacea* (C = 14,49 mm, tabela 3) (PEREIRA et al., 2016). Outro fator que contribui para a variação no tamanho e massa de sementes entre as espécies é o estágio de sucessão ecológica ao qual pertence cada uma delas (Figura 2-B), visto que espécies de estágios sucessionais iniciais (pioneiras), costumam apresentar sementes menores, como *Apeiba tibourbou* (C = 2,82 mm, tabela 3), enquanto que espécies de estágios mais tardios (não pioneiras), frequentemente apresentam sementes maiores, como *P. multijuga* (C = 45,79 mm, tabela 3) (GALVÃO; MEDEIROS, 2002). A diferença interespecífica observada sobre o tamanho e a massa das sementes também parece estar relacionada com o ciclo biológico da planta (Figura 2-C) (GALVÃO; MEDEIROS, 2002), o qual pode ser distinto entre espécies da

mesma família. Por exemplo, leguminosas anuais, como *M. skinneri* ($M = 0,76$ g, tabela 3), geralmente produzem sementes com menor massa, quando comparadas a leguminosas perenes, como *Parkia pendula* ($M = 10,37$ g, tabela 3).

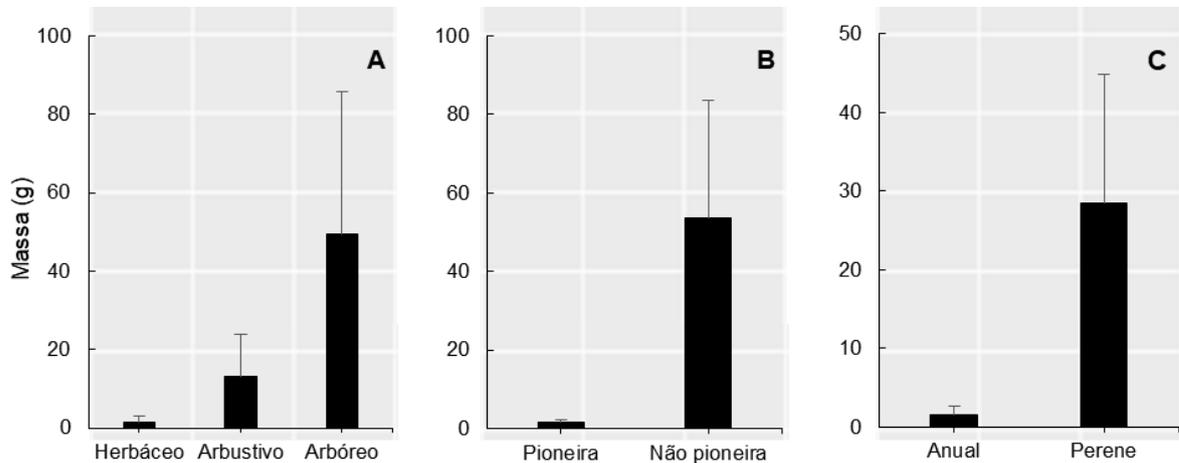


Figura 2. Massa de 100 sementes de espécies nativas da FLONA Carajás em função do hábito de crescimento (A), grupo de sucessão ecológica (B) e ciclo biológico (C).

As colunas e as barras acima das colunas representam a média e o erro padrão, respectivamente.

3.2.2 Germinação e escarificação de sementes

Verificou-se que todos os grupos de espécies analisados apresentaram, em média, baixas taxas de germinação, bem como reduzida velocidade de germinação (Figura 3). Esses resultados se devem, provavelmente, a fatores intrínsecos das sementes, como preenchimento inadequado de endosperma ou presença de algum tipo de dormência, mecanismo este já relatado para várias espécies que ocorrem na Amazônia (SANTOS, 2018; PINEDO; FERRAZ, 2008; CIPRIANI; GARLET; LIMA, 2019; ARAÚJO; MOTA; DOBBS, 2019).

No entanto, verificou-se que as sementes das espécies estudadas aumentaram em mais de 3 vezes a taxa de germinação e em mais de 11 vezes o IVG após a escarificação mecânica (Figura 3), indicando que a germinação dessas espécies é restringida pela espessura do tegumento. Tais incrementos observados para ambas as variáveis foram distintos entre os grupos de espécies, sendo maior no grupo arbóreo. Esse aumento se deve à remoção de parte do tegumento da semente, que permitiu maior absorção de água e trocas gasosas e, por conseguinte, o início da germinação. Ganhos obtidos na taxa de germinação e IVG favorecem uma germinação mais veloz e uniforme (LAFETÁ et al., 2021), o que pode ser benéfico para a recuperação inicial de áreas degradadas. Uma germinação mais rápida e sincrônica pode aumentar o aproveitamento das plantas nativas sobre os recursos ambientais (e.g. luz, água e

nutrientes) disponíveis no campo, resultando no estabelecimento mais vigoroso e uniforme do estande de plântulas (GUEDES et al., 2015; SANTOS et al., 2019). Além disso, pode reduzir o custo de produção de mudas, devido ao menor tempo de permanência da muda no viveiro (CARVALHO et al., 2020). Por outro lado, uma germinação mais lenta, devido a condições externas (e.g. temperatura desfavorável) ou internas (e.g. dormência), também pode ser considerado benéfico à recuperação ambiental, sobretudo em estágios sucessionais posteriores, pois contribui, por exemplo, para a formação e persistência do banco de sementes do solo (GARWOOD, 1989; SECCO; BLUM; VELAZCO, 2019), fundamental para suprir novos indivíduos ao longo da sucessão ecológica natural.

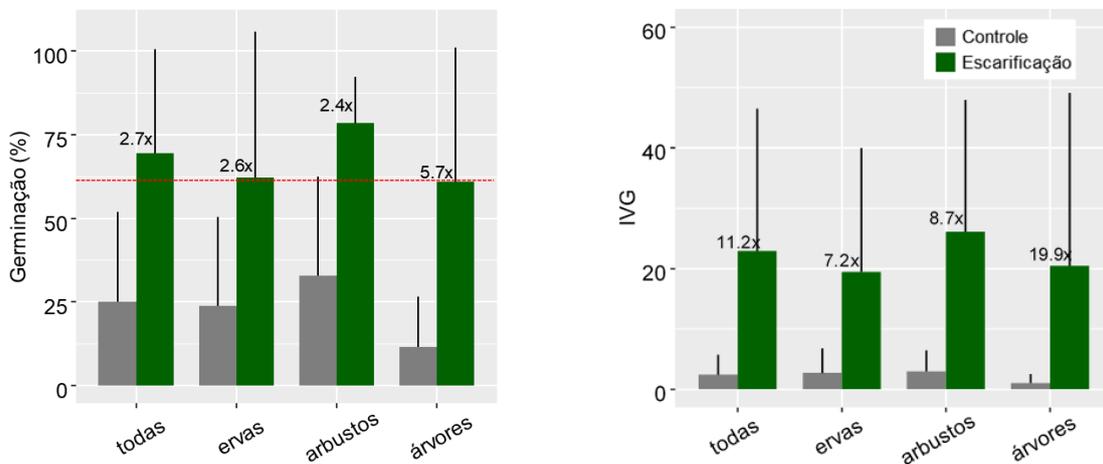


Figura 3. Porcentagem de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de grupos de espécies nativas da FLONA Carajás, antes e após escarificação.

As espécies foram agrupadas de acordo com o hábito de crescimento: ervas, arbustos e árvores. Valores sobre as colunas indicam o aumento da germinação após a escarificação. Colunas e barras representam médias e desvio-padrões, respectivamente.

Sem escarificação mecânica do tegumento da semente, apenas sete espécies (18 % das espécies avaliadas) apresentaram germinação superior ou igual a 60 %, sendo *Spermacece verticillata* (Rubiaceae), *A. brasiliensis* (Opilaceae), *A. scabriusculum* (Bignoniaceae), *Bauhinia longipedicellata* (Fabaceae), *Cuphea carajasensis* (Lythraceae), *S. crinitum* (Solanaceae) e *Vellozia glochidea* (Velloziaceae) (Figura 4 e 5), sendo a primeira de hábito herbáceo e as demais de hábito arbustivo. Esse fato confirma a necessidade da escarificação para a maioria das espécies estudadas, a fim de superar uma possível dormência física em sementes de tegumento espesso e, conseqüentemente, aumentar a eficiência da germinação. Para a superação da dormência física ou tegumentar, existem alguns métodos propostos na literatura (POPINIGIS, 1985), dentre os quais destaca-se a escarificação mecânica do

tegumento, que tem sido empregada com sucesso para várias espécies, principalmente fabáceas, que comumente apresentam tegumento espesso.

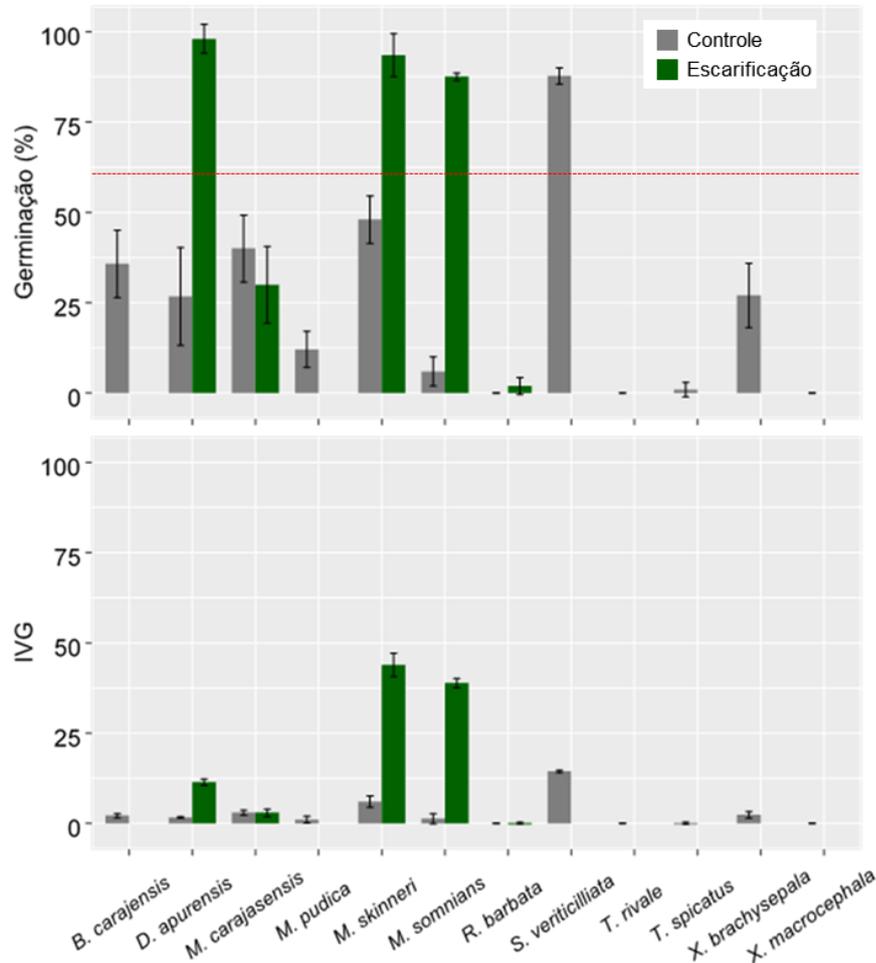


Figura 4. Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies herbáceas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica.

Colunas e barras de erros representam médias e desvio-padrões, respectivamente.

Das 39 espécies nativas da FLONA Carajás avaliadas, 22 espécies (15 fabáceas) foram submetidas à escarificação mecânica. Destas, apenas cinco permaneceram com baixas taxas de germinação após a escarificação do tegumento da semente: *Monogereion carajasensis*, *R. barbata* (Figura 4), *C. desvauxii* (Figura 5), *A. tibourbou* e *B. stipulacea* (Figura 6). Possivelmente, as sementes destas espécies possuem baixa viabilidade e, ou, apresentam outro tipo de dormência, como fisiológica ou morfológica (BASKIN; BASKIN, 2004), além de preenchimento inadequado ou deterioração do endosperma. Neste caso, tais espécies requerem novos estudos que proponham alternativas de quebra de dormência mais eficientes. Por outro lado, dentre as espécies que aumentaram sua taxa de germinação depois da abrasão mecânica

das sementes, três (*Bauhinia platyptala*, *M. somnians* e *P. pendula*) tiveram germinação incrementada em mais de 10 vezes.

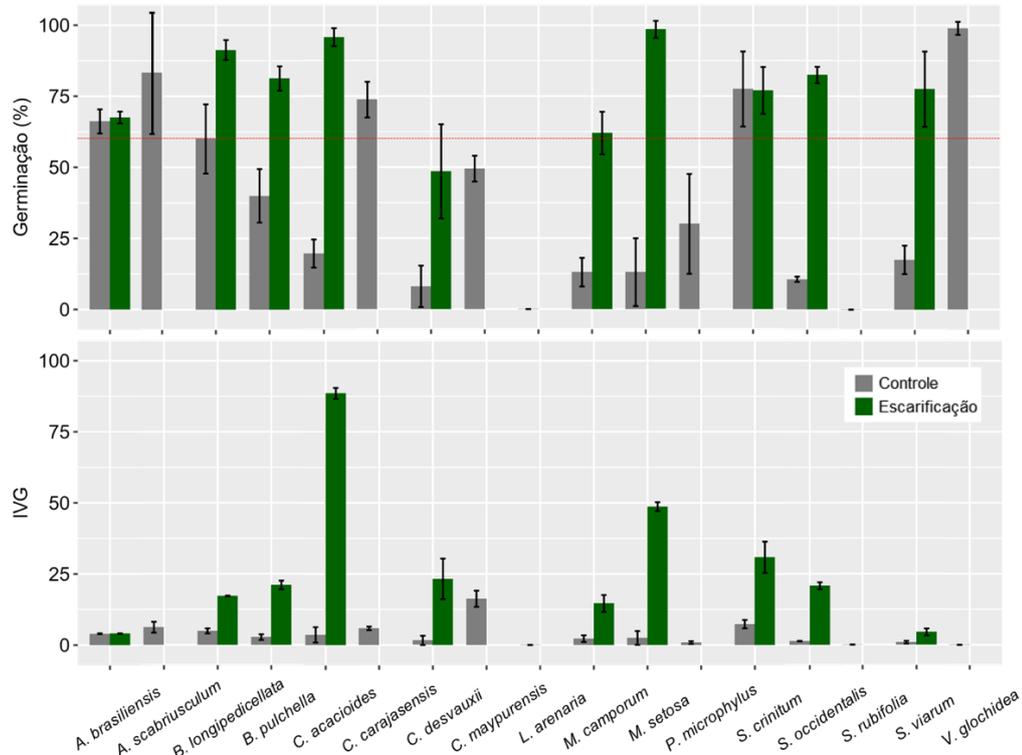


Figura 5. Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies arbustivas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica.

Colunas e barras de erros representam médias e desvio-padrões, respectivamente.

À exceção de *B. longipedicellata*, todas as Fabaceae analisadas (18 espécies) apresentaram taxas de germinação inferiores a 60 %, evidenciando, portanto, a presença de algum mecanismo de dormência ou preenchimento inadequado de endosperma na semente. Em Fabaceae, Liliaceae, Malvaceae e Solanaceae, dentre outras famílias botânicas, a dormência física é o tipo que ocorre frequentemente em suas espécies (POPINIGIS, 1985; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012), sendo caracterizada basicamente pela presença de tegumento espesso, que restringe a protrusão da radícula e o fluxo de água e ar entre a semente e o ambiente externo (BASKIN; BASKIN, 2004). Essas espécies utilizam esse mecanismo como estratégia de sobrevivência, pois permite que a germinação ocorra, com maior probabilidade, em condições ambientais favoráveis ao estabelecimento da plântula, garantindo, dessa forma, maior chance de perpetuação da espécie.

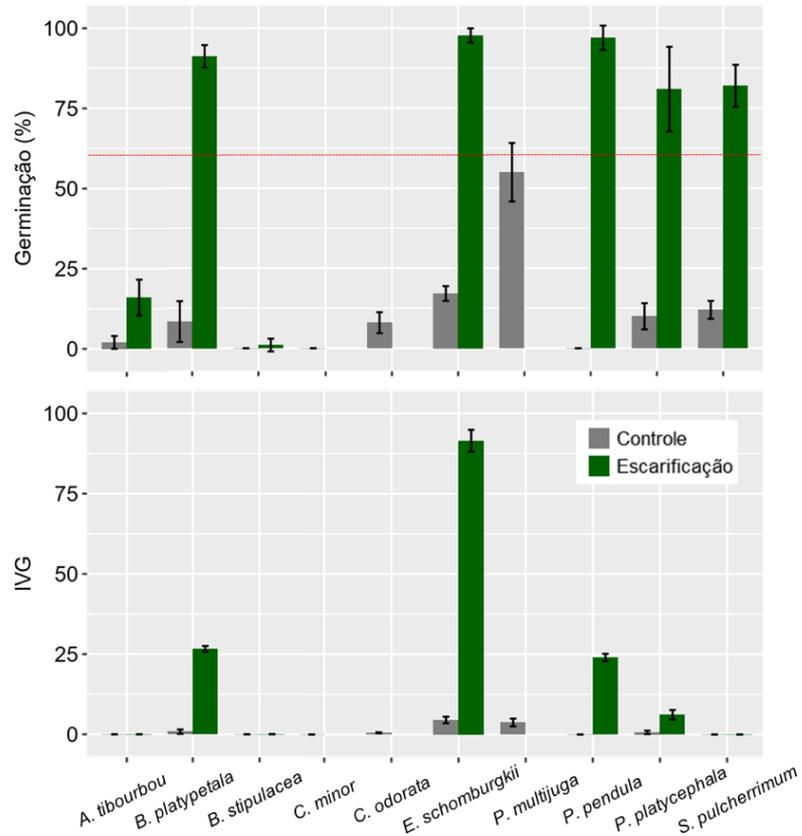


Figura 6. Taxa de germinação e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de espécies arbóreas nativas da FLONA Carajás, antes e após a escarificação mecânica.

Colunas e barras de erros representam médias e desvio-padrões, respectivamente.

No geral, a escarificação mecânica demonstrou-se um método eficiente para aumentar a taxa e velocidade de germinação, o que resulta em maior uniformidade de emergência das plântulas, um dos requisitos determinantes na seleção de espécies para uso em programas de revegetação. Ressalta-se que, para atender a elevada demanda de sementes de tais programas, diferentes métodos de abrasão mecânica reportados na literatura podem ser adaptados para uso em larga escala (MISSIO et al., 2016), com auxílio de máquinas ou equipamentos que já se encontram disponíveis no mercado.

A escarificação ácida das sementes, por sua vez, proporcionou aumento significativo da taxa germinação em quatro de 10 espécies avaliadas, sendo bastante expressivo em *M. pudica* (Figura 7). Esse aumento se deve ao desgaste do tegumento pela ação corrosiva do ácido, acarretando em maior permeabilidade à água, fundamental para o início do processo germinativo.

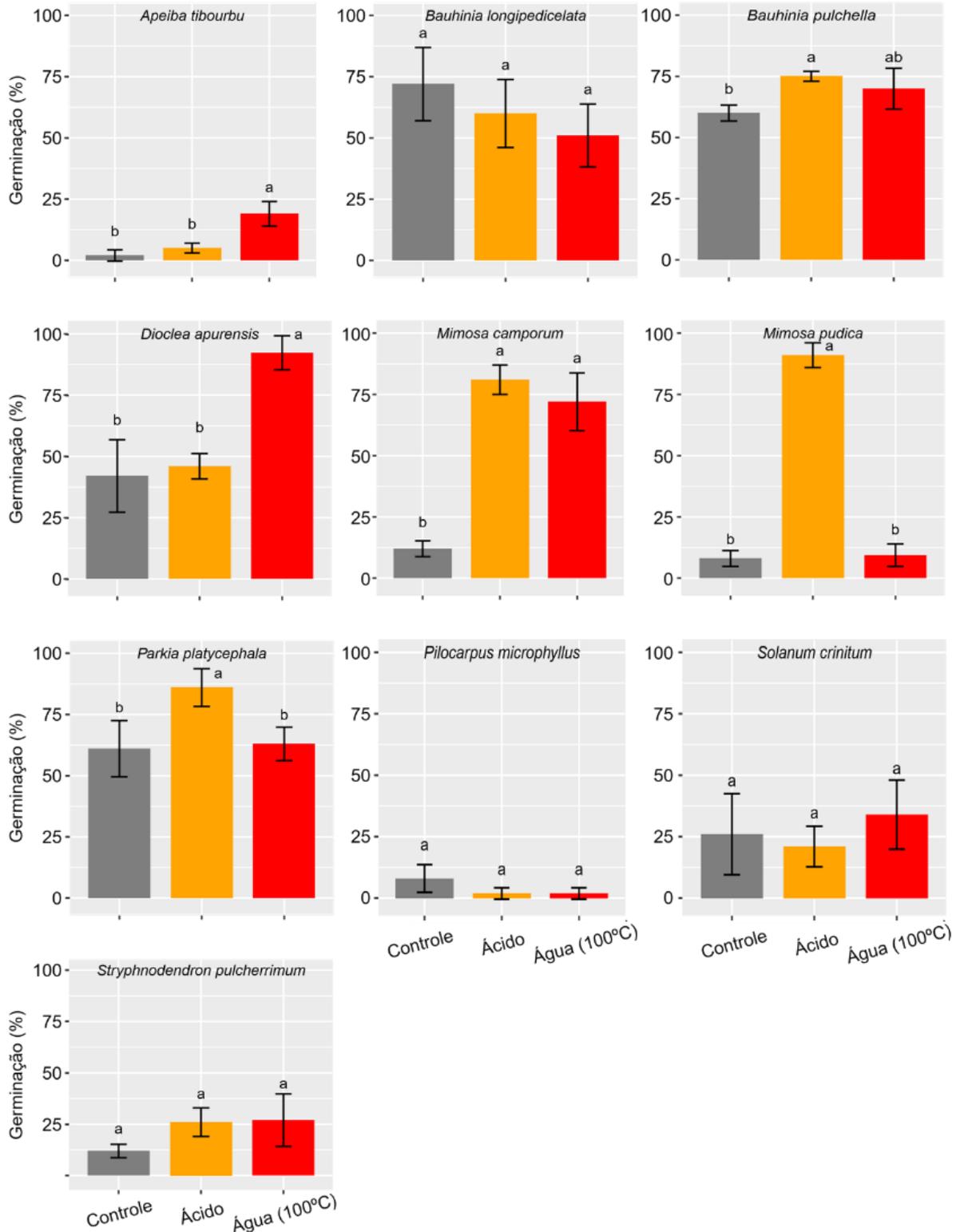


Figura 7. Porcentagem de germinação de sementes de 10 espécies nativas da FLONA Carajás, após tratamentos pré-germinativos.

Controle = sem escarificação; Ácido = escarificação química com H_2SO_4 a 98 %; e, Água (100 °C) = escarificação em água quente. Colunas e barras de erro representam médias e desvio-padrões, respectivamente. Em que $n = 4$, com 25 sementes para cada repetição. As médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si após teste post-hoc de Tukey HSD a 95 % de probabilidade.

A imersão das sementes em água quente, por sua vez, incrementou significativamente a taxa germinação em *Dioclea apurensis*, *M. camporum* (Fabaceae) e *A. tibourbou* (Malvaceae) (Figura 7). Esses resultados podem estar associados ao maior amolecimento/enfraquecimento do tegumento da semente dessas espécies. Nas demais espécies, é possível que a alta temperatura tenha ocasionado a morte do embrião, especialmente nas espécies de sementes pequenas, como *M. pudica*.

Acredita-se, entretanto, que nos casos de sucesso da escarificação, um maior tempo de imersão dessas sementes, tanto em ácido ou quanto em água quente, pode resultar em incremento ainda maior na taxa de germinação (LOPES; BARBOSA; CAPUCHO, 2007; NASCIMENTO; LOPES; MACIEL, 2012; CIPRIANI; GARLET; LIMA, 2019), pois o tempo empregado no estudo talvez não tenha sido suficiente para enfraquecer o tegumento da semente, reforçando a necessidade de ajustes no protocolo de superação de dormência para essas espécies.

3.2.3 Relação entre biometria e germinação de sementes

Verificou-se que a massa das sementes correlacionou positivamente com o comprimento ($\rho = 0.72$), largura ($\rho = 0.46$), espessura ($\rho = 0.68$) e volume das sementes ($\rho = 0.94$) (Figura 8), indicando que o tamanho da semente é determinado pela quantidade de massa que possui, i.e., quanto maior a massa, maior é o volume, o que explica a baixa correlação entre a massa e a densidade. Portanto, sementes maiores tendem a ter maiores quantidades de reservas nutritivas, as quais são importantes para um bom desempenho germinativo e estabelecimento da plântula (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Essas reservas nutritivas desempenham papel fundamental durante a germinação, pois sua assimilação fornece as substâncias solúveis necessárias para reinício do crescimento do embrião (MARCOS FILHO, 2015), sendo sua única fonte energética até então, visto que nessa etapa ainda não realiza fotossíntese.

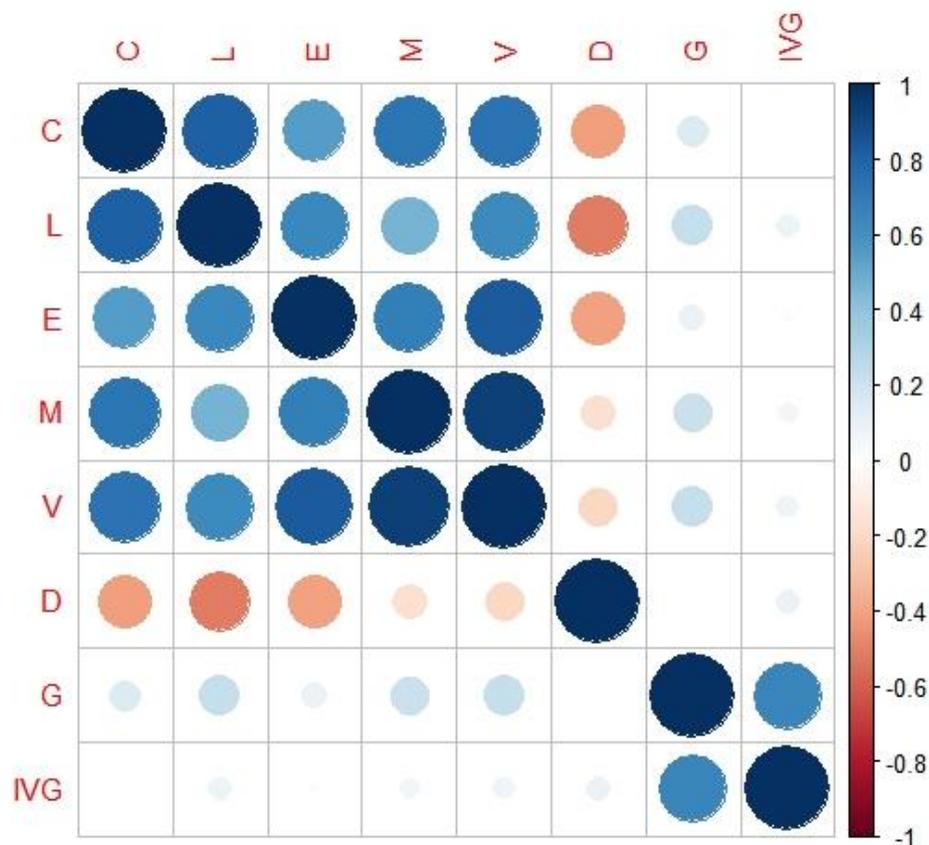


Figura 8. Correlação entre as características de biometria, germinação e IVG de sementes de 39 espécies nativas da FLONA Carajás, Brasil.

C = comprimento; L = largura; E = espessura; M = massa de 100 sementes; V = volume; D = densidade; G = taxa de germinação; e, IVG = Índice de velocidade de germinação. O tamanho e tonalidade do círculo é proporcional a correlação, que pode ser negativa (cor vermelha) ou positiva (cor azul).

3.3 Conclusão

As sementes das espécies nativas estudadas apresentaram diferentes tamanhos e massas, o que está diretamente associado às características intrínsecas do genótipo e sua interação com o ambiente e a fatores ecológicos, como hábito de crescimento, estágio de sucessão ecológica, ciclo biológico e estratégias de dispersão e sobrevivência.

A maioria das espécies nativas apresentou sementes com baixo desempenho germinativo, principalmente as arbóreas, revelando a necessidade de tratamento pré-germinativo.

A escarificação mecânica aumentou significativamente a germinação da maioria das espécies avaliadas, com incremento de mais de 10 vezes na taxa de germinação de *Mimosa somnians*, *Bauhinia platyptala* e *Parkia pendula*, sendo, portanto, um método muito eficiente para aumentar a germinação de espécies nativas que podem ser utilizadas na revegetação de áreas mineradas na Amazônia. Já a escarificação ácida e a imersão em água quente das sementes

proporcionaram aumento significativo da germinação apenas em algumas das espécies submetidas a esses métodos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, K. V.; MOTA, D. A.; DOBBSS, L. B. Escarificação ácida na superação de dormência de *Enterolobium schomburgkii*. **Agri-Environmental Sciences**, v. 4, n. 2, p. 16-23, 2019.
- ARAÚJO, E. C. et al. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 26, n. 1, p. 105-110, 2004.
- BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, p. 1-16, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regras para análise de sementes**. Brasília-DF: assessoria de Comunicação Social, 2009. 399 p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CARVALHO, P. R. M. et al. Superação de dormência de sementes e desenvolvimento de mudas de jatobazeiro em substratos alternativos. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, 2020.
- CIPRIANI, V. B.; GARLET, J.; LIMA, B. M. Quebra de dormência em sementes de *Chloroleucon acacioides* e *Senna macranthera*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 49-54, 2019.
- FURTADO, A. C. S. et al. Avaliação semiquantitativa de metais pesados em frutos de *Brasilianthus carajasensis* Almeda & Michelangeli (Melastomataceae). In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 21., 2017, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017.
- GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. de S. (Ed.). **Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 133 p.
- GARWOOD, N. C. Tropical soil seed banks: a review. In: Leck, M. A.; PARKER, V. T.; SIMPSON, R. L. **Ecology of soil seed banks**. San Diego: Academic Press, 1989. p. 149-209.
- GUEDES, R. S. et al. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2373- 2382, 2015.
- LAFETÁ, B. O. et al. Tratamentos térmicos para a superação da dormência em sementes de *Caesalpinia ferrea* MART. EX TUL. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 15, n. 1, p. 01-08, 2021.
- LOPES, J. C.; BARBOSA, L. G.; CAPUCHO, M. T. Germinação de sementes de *Bauhinia* spp. **Floresta**, v. 37, n. 2, 2007.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina-PR: ABRATES, 2015. 659 p.
- MISSIO, E. L. et al. Escarificação mecânica em cilindro rotativo é viável para a superação da dormência de sementes de pau-ferro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 476, 2016.
- NASCIMENTO, A.; LOPES, J. C.; MACIEL, K. Germinação de sementes de rabo de pitú (*Chamaecrista desvauxii*). **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.
- PANTOJA, T. F. Descrição morfológica e análise da variabilidade genética para caracteres de frutos, sementes e processo germinativo associado à produtividade de óleo em matrizes de *Carapa guianensis* Aublet., uma Meliaceae da Amazônia. 82 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, 2007.
- PEREIRA, I. et al. Espécies potenciais para recomposição de matas ciliares na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, 2016.
- PINEDO, G. J. V.; FERRAZ, I. D. K. Hidrocondicionamento de *Parkia pendula* [Benth ex Walp]: sementes com dormência física de árvore da Amazônia. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 39-49, 2008.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. AGIPLAN: Ministério da Agricultura, Brasília-DF, 1985.
- R Core Team (2020). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- SANTOS, A. A. S. S. Liofilização como alternativa para superação de dormência em sementes de cinco espécies florestais. 2018. 57 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM, 2018.
- SANTOS, J. L. et al. Vigor de sementes de *Amburana cearensis* (All.) AC Smith provenientes de diferentes plantas matrizes. **Acta Iguazu**, v. 8, n. 2, p. 12-22, 2019.
- SANTOS, J. et al. Aspectos dimensionais de sementes de *Dimorphandra mollis* para estudo da variabilidade entre populações de plantas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p., 2020.
- SECCO, R. T.; BLUM, C. T.; VELAZCO, S. J. E. Influência de povoamento de *Pinus taeda* sobre o banco de sementes na região de Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 70, 2019.
- SILVA, B. M. S.; MÔRO, F. V. Aspectos morfológicos do fruto, da semente e desenvolvimento pós-seminal de faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. - Fabaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 195-201, 2008.
- SOUZA, D. C. L. et al. Produção de frutos e características morfofisiológicas de *Schinus terebinthifolius* Raddi., na região do baixo São Francisco, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 923-932, 2013.

SOUZA FILHO, A. P. S. et al. Germinação de sementes de plantas daninhas de pastagens cultivadas: *Mimosa pudica* e *Ipomoea asarifolia*. **Planta Daninha**, v. 19, n. 1, p. 23-31, 2001.

ZANETTI, M. et al. Seed functional traits provide support for ecological restoration and ex situ conservation in the threatened Amazon ironstone outcrop flora. **Frontiers in plant science**, v. 11, 2020.