



Anais do I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*

5 e 6 de outubro de 2021



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 377

Anais do I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*

5 e 6 de outubro de 2021

*Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Delman de Almeida Gonçalves
Thiago de Paula Protásio*
Editores Técnicos

Embrapa Florestas
Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva
Elisabete Marques Oaida

Membros
Anneté Bonnet
Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Elenice Fritzsos
Krisle da Silva
Marcelo Francia Arco Verde
Marilice Cordeiro Garrastazu
Susete do Rocio Chiarello Penteado
Valderês Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Neide Makiko Furukawa

Foto capa
Delman de Almeida Gonçalves

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Florestas

Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris* (01. : 2021: Colombo, PR).

Anais [do] I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris* / Cristiane Aparecida
Fioravante Reis... [et al.] editores técnicos – Colombo : Embrapa Florestas, 2022.
158 p. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; n. 377).

Modo de acesso:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

1. Silvicultura. 2. *Tachigali vulgaris*. 3. Taxi-branco. 4. Pesquisa florestal. I. Reis, Cristiane
Aparecida Fioravante. II. Gonçalves, Delman de Almeida. III. Protásio, Thiago de Paula, IV.
Série.

CDD: 595.774 (21. ed.)

Editores técnicos

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Delman de Almeida Gonçalves

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Thiago de Paula Protásio

Engenheiro florestal, doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira, professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, PA

Autores

Ana Carolina Pereira

Engenheira florestal, mestranda em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Alexandre Mehl Lunz

Engenheiro florestal, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Alvaro Augusto Vieira Soares

Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, professor da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG

Arystides Resende Silva

Engenheiro florestal, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Cássia Ângela Pedrozo

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Celso Paulo de Azevedo

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, Manaus, AM

Claudia Franca Barros

Bióloga, doutora em Biofísica, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Daniele Aparecida Alvarenga Arriel

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento, professora da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG

Delman de Almeida Gonçalves

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências Florestais, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu

Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, analista da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Flaviana Antunes dos Santos

Graduanda em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Roraima, Boa Vista, RR

Francisco Itamar Gonçalves Melgueiro

Engenheiro florestal, mestre em Ciências Florestais e Ambientais, Manaus, AM

Gabriel de Assis-Pereira

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, pós-doutorando da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP

Haroldo Cavalcante de Lima

Biólogo, doutor em Ecologia, pesquisador do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Isys Nathyally de Lima Silva

Graduanda em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Jéssica Cauana de Oliveira Santana

Bióloga, doutora em Botânica, analista ambiental da Secretaria de Meio Ambiente, Luís Eduardo Magalhães, BA

Jorge Alberto Gazel Yared

Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, São José dos Campos, SP

Keyla Maria Nunes e Silva

Engenheira florestal, mestranda em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT

Larissa Gonçalves Moraes

Engenheira florestal, mestranda em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA

Lariany Falcão de Lima Lopes

Graduanda em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Lina Bufalino

Engenheira florestal, doutora em Ciência e Tecnologia da Madeira, professora da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA

Lucieta Guerreiro Martorano

Meteorologista e Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia (Agrometeorologia), pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Marciel José Ferreira

Engenheiro florestal, doutor em Ciências de Florestas Tropicais, professor da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM

Mario Tomazello-Filho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP

Michael Douglas Roque Lima

Engenheiro florestal, doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira, Lavras, MG

Noemi Vianna Martins Leão

Engenheira florestal, doutora em Ciências Agrárias, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Paulo Fernando Trugilho

Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, professor da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Rafael de Paiva Salomão

Engenheiro florestal, doutor em Ciências Agrárias, professor visitante da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA

Roberval Monteiro Bezerra de Lima

Engenheiro florestal, doutor em Silvicultura, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM

Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

Engenheiro florestal, doutor em Engenharia Florestal, professor da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG

Ruth Linda Benchimol

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências Biológicas, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Sandra Lima Cruz

Engenheira-agrônoma, mestre em Agroecologia, Boa Vista, RR

Sérgio Heitor Sousa Felipe

Engenheiro-agrônomo, doutor em Botânica, pesquisador da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA

Silvio Brienza Junior

Engenheiro florestal, doutor em Agricultura Tropical, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Tainah Silva Narducci

Engenheira ambiental, mestre em Ciências Ambientais, Belém, PA

Tahysa Mota Macedo

Bióloga, doutora em Botânica, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

Thiago de Paula Protásio

Engenheiro florestal, doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira, professor da Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, PA

Udson de Oliveira Barros Junior

Engenheiro florestal, doutorando em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES

Vanessa Gomes de Sousa

Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais, Castanhal, PA

Zilza Thayane Matos Guimarães

Engenheira florestal, doutoranda do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM

Apresentação

O “I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*” foi uma reunião técnica de caráter inédito e multi-institucional, realizada nos dias 5 e 6 de outubro de 2021, que possibilitou significativo compartilhamento de conhecimento científico sobre o tema central, a espécie *Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H.C. Lima. A organização deste workshop foi resultado de uma parceria direta entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e a Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), em conjunto com as demais instituições participantes apoiadoras.

O objetivo deste evento foi promover o resgate histórico das pesquisas realizadas nos últimos 50 anos, por diversas instituições brasileiras e propor outras ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), como forma de consolidar o sistema de produção e a promoção do uso dessa espécie em escala produtiva no Brasil. Para tanto, contou-se com prelecionistas das seguintes instituições: Embrapa, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq/USP), Instituto de Pesquisas Ambientais (antigo Instituto Florestal de São Paulo) (IPA), Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Lavras (Ufla), Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (Peru).

Para uma melhor compreensão do potencial da espécie tema deste workshop, *T. vulgaris* é uma leguminosa arbórea com ampla distribuição geográfica no território brasileiro, ocorrendo também em alguns países da América do Sul, tais como as porções amazônicas do Peru, Suriname, Guianas e Venezuela. Recebe diferentes nomes vulgares conforme o local onde ocorre, tais como: tachi-branco (Pará), carvoeiro (Goiás), cachamorra (Tocantins), entre outros. É uma espécie nativa que tem ocorrência natural dentro dos domínios fitogeográficos dos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga.

Em decorrência de suas características tecnológicas, ecológicas e silviculturais, essa espécie possui significativo potencial para expansão e diversificação da silvicultura, em plantios energéticos no Brasil e para a recuperação de áreas degradadas. Tem potencial para contribuir diretamente, em nível nacional, para o fornecimento de biomassa à produção de cavacos, *pellets* de madeira e carvão vegetal, como fonte de energia renovável aos setores elétrico (termelétrica a biomassa), siderúrgico, de cimento, além de pequenas indústrias (olarias e padarias) e do uso doméstico rural e urbano, dentre outros usos de menor expressão em volume relativo demandado pela sociedade brasileira. Em virtude do potencial econômico da espécie, objetiva-se com esta publicação sintetizar e disponibilizar informações aos segmentos interessados, como forma de balizar o planejamento dos cultivos e as tomadas de decisão por parte de empresas privadas, produtores florestais, técnicos e ampla sociedade, além de instituições responsáveis pela liberação de créditos para produção e de agências responsáveis pelo fomento e execução de pesquisas. Espera-se que essa publicação seja útil aos estudantes em nível técnico, graduação e pós-graduação.

Ressalta-se que entre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), quatro estão em consonância com o conteúdo técnico-científico da presente publicação (ODS 7 - Energia limpa

e acessível, ODS 12 - Consumo e produção sustentáveis, ODS 15 - Vida terrestre e ODS 17 - Parcerias e meios de implementação), por estarem focados em uma espécie florestal nativa da Amazônia, Caatinga e do Cerrado, que tem significativa capacidade de recuperação de áreas degradadas, baixa exigência nutricional e madeira adequada à geração de bioenergia com a perspectiva de emissão neutra de carbono quando cultivada na escala produtiva. Adicionalmente, consiste em uma espécie versátil, que pode ser cultivada em monocultivo ou policultivo (sistemas agroflorestais e de integração lavoura-pecuária-floresta) e utilizada em diversas escalas de produção, ou seja, desde a silvicultura em nível familiar até empresarial.

Marcílio José Thomazini

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Florestas

Programação

5 de outubro de 2021

Bloco 1

Expansão da silvicultura de espécies nativas na Amazônia: o potencial de *Tachigali vulgaris* como espécie para recuperação de áreas degradadas e produção bioenergética

Moderador: Milton Kanashiro - Embrapa Amazônia Oriental

Link para assistir ao bloco: <https://www.youtube.com/watch?v=cmAtEhCIENo>

Palestra I Fomento florestal no Brasil e expansão das plantações com espécies nativas da Amazônia

Palestrante: Fernando Castanheira Neto - SFB

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/cmAtEhCIENo?t=398>

Palestra II O gênero *Tachigali* (Fabaceae - Caesalpinioideae) e taxonomia de *Tachigali vulgaris*

Palestrante: Jéssica Cauana de Oliveira Santana - UnB

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/cmAtEhCIENo?t=2228>

Palestra III Filogenia de *Tachigali* (Fabaceae - Caesalpinioideae) com ênfase em *Tachigali vulgaris*

Palestrante: Isau Huamantupa-Chuquimaco - Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (Peru)

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/cmAtEhCIENo?t=3399>

Palestra IV Zoneamento topoclimático do *Tachigali vulgaris* na Amazônia Legal: Estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável

Palestrante: Lucieta Guerreiro Martorano - Embrapa Amazônia Oriental

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/cmAtEhCIENo?t=5359>

Bloco 2

Desafios no desenvolvimento de protocolos silviculturais para *Tachigali vulgaris* e modelos produtivos integrados com espécies nativas

Moderador: Alexandre Uhlmann - Embrapa Pesca e Aquicultura

Link para assistir ao bloco: <https://www.youtube.com/watch?v=US2hEjOIfpE>

Palestra V Produção de sementes e mudas de *Tachigali vulgaris*

Palestrantes: Noemi Vianna Martins Leão - Embrapa Amazônia Oriental

Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu - Embrapa Amazônia Oriental

Sérgio Heitor Sousa Felipe - Ufra

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/US2hEjOIfpE?t=309>

Palestra VI *Tachigali vulgaris* na Amazônia: retrospectiva de pesquisas com plantios experimentais

Palestrante: Silvio Brienza Júnior - Embrapa Amazônia Oriental

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/US2hEjOIfpE?t=2230>

Palestra VII Manejo silvicultural das plantações de *Tachigali vulgaris*

Palestrantes: Roberval Monteiro Bezerra de Lima - Embrapa Amazônia Ocidental

Marciel José Ferreira - Ufam

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/US2hEjOIfpE?t=4313>

6 de outubro de 2021

Bloco 3

Perspectivas futuras das pesquisas com qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris*

Moderadora: Lina Bufalino - Ufra

Link para assistir ao bloco: <https://www.youtube.com/watch?v=tzCC1imYsMw>

Palestra VIII Anatomia do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*

Palestrante: Claudia Franca Barros - JBRJ

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/tzCC1imYsMw?t=210>

Palestra IX Dendrocronologia e densitometria de raios-X do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*

Palestrantes: Gabriel de Assis-Pereira - Esalq/USP

Larissa Gonçalves Moraes - Esalq/USP

Mario Tomazello-Filho - Esalq/USP

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/tzCC1imYsMw?t=1838>

Palestra X Qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* visando à produção de carvão vegetal siderúrgico

Palestrantes: Thiago de Paula Protásio - Ufra

Paulo Fernando Trugilho - Ufla

Link para assistir à palestra: <https://youtu.be/tzCC1imYsMw?t=4486>

Seleção genética de *Tachigali vulgaris* para plantações homogêneas e recuperação de áreas degradadas

Moderador: Paulo Cesar Flores Júnior - Ufra

Link para assistir ao bloco: https://www.youtube.com/watch?v=2_HSo3yzK8s

Palestra XI Melhoramento genético de *Tachigali vulgaris* para plantações homogêneas

Palestrantes: Cassia Angela Pedrozo - Embrapa Roraima

Daniele Aparecida Alvarenga Arriel - UFU

Link para assistir à palestra: https://youtu.be/2_HSo3yzK8s?t=193

Palestra XII Crescimento e produção das florestas energéticas de *Tachigali vulgaris*

Palestrante: Alvaro Augusto Vieira Soares - UFU

Link para assistir à palestra: https://youtu.be/2_HSo3yzK8s?t=2951

Palestra XIII Utilização da espécie *Tachigali vulgaris* na recuperação de áreas degradadas

Palestrante: Antônio Carlos Galvão de Melo - IPA

Link para assistir à palestra: https://youtu.be/2_HSo3yzK8s?t=5011

Palestra XIV *Tachigali vulgaris*: potencial na restauração de áreas submetidas à mineração

Palestrante: Rafael de Paiva Salomão - Ufra

Link para assistir à palestra: https://youtu.be/2_HSo3yzK8s?t=7354

Sumário

Bloco 1

Expansão da silvicultura de espécies nativas na Amazônia: o potencial de *Tachigali vulgaris* como espécie para recuperação de áreas degradadas e produção bioenergética

O gênero <i>Tachigali</i> (Fabaceae - Caesalpinioideae) e taxonomia de <i>Tachigali vulgaris</i> Jéssica Cauana de Oliveira Santana	19
Zoneamento topoclimático da Amazônia Legal: Estratégias de planejamento voltadas ao desenvolvimento sustentável Lucieta Guerreiro Martorano	29

Bloco 2

Desafios no desenvolvimento de protocolos silviculturais para *Tachigali vulgaris* e modelos produtivos integrados com espécies nativas

Produção e tecnologia de sementes de tachi-branco (<i>Tachigali vulgaris</i>) Noemi Vianna Martins Leão, Sérgio Heitor Sousa Felipe, Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu, Alexandre Mehl Lunz e Ruth Linda Benchimol.....	41
<i>Tachigali vulgaris</i> na Amazônia: retrospectiva de pesquisas com plantios experimentais Silvio Brienza Júnior, Jorge Alberto Gazel Yared, Vanessa Gomes de Sousa, Tainah Silva Narducci, Rafael de Paiva Salomão e Lucieta Guerreiro Martorano.....	59
Manejo silvicultural de plantações de <i>Tachigali vulgaris</i> Marciel José Ferreira, Roberval Monteiro Bezerra de Lima, Celso Paulo de Azevedo, Francisco Itamar Gonçalves Melgueiro, Zilza Thayane Matos Guimarães, Lariany Falcão de Lima Lopes e Isys Nathyally de Lima Silva.....	75

Bloco 3

Perspectivas futuras das pesquisas com qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris*

Anatomia da madeira de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima

Claudia Franca Barros, Tahysa Mota Macedo e Haroldo Cavalcante de Lima 93

Dendrocronologia e densitometria de raios X aplicados na avaliação das propriedades do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*, na Amazônia

Larissa Gonçalves Moraes, Gabriel de Assis-Pereira, Thiago de Paula Protásio, Lina Bufalino, Delman de Almeida Gonçalves e Mario Tomazello-Filho 99

Qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* visando à produção de carvão vegetal siderúrgico

Thiago de Paula Protásio, Michael Douglas Roque Lima, Udson de Oliveira Barros Junior, Lina Bufalino, Arystides Resende Silva, Delman de Almeida Gonçalves e Paulo Fernando Trugilho 113

Bloco 4

Seleção genética de *Tachigali vulgaris* para plantações homogêneas e recuperação de áreas degradadas

Melhoramento genético de *Tachigali vulgaris* para plantações homogêneas: análise de um teste de procedências e progênies aos dez anos de idade

Daniele Aparecida Alvarenga Arriel, Keyla Maria Nunes e Silva, Ana Carolina Pereira, Thiago de Paula Protásio, Delman de Almeida Gonçalves 127

Melhoramento genético de *Tachigali vulgaris*: teste de procedências e progênies em Roraima

Cássia Ângela Pedrozo, Sandra Lima Cruz, Delman de Almeida Gonçalves e Flaviana Antunes dos Santos 139

Crescimento e produção de florestas energéticas de *Tachigali vulgaris*

Alvaro Augusto Vieira Soares, Rodrigo Otávio Veiga de Miranda, Thiago de Paula Protásio, Arystides Resende Silva, Delman de Almeida Gonçalves 145

Bloco 1

Expansão da silvicultura de espécies nativas na Amazônia: o potencial de *Tachigali vulgaris* como espécie para recuperação de áreas degradadas e produção bioenergética

O gênero *Tachigali* (Fabaceae - Caesalpinioideae) e taxonomia de *Tachigali vulgaris*

Jéssica Cauana de Oliveira Santana

Introdução

O gênero *Tachigali* Aublet pertence à família Fabaceae e está subordinado à subfamília Caesalpinioideae, na tribo Caesalpinieae, onde foi incluído no grupo *Tachigali* juntamente com os gêneros *Arapatiella* e *Jacqueshuberia* (Lewis et al., 2005), ainda que os estudos mais recentes apontem relação ainda pouco resolvida com os gêneros *Dimorphandra* e *Peltophorum* (LPWG, 2017; Koenen et al., 2020). *Tachigali* compreende cerca de 60-70 espécies com distribuição neotropical, principalmente na América do Sul (Silva; Lima, 2007). No Brasil ocorrem 60 espécies, das quais 26 são endêmicas (Huamantupa-Chuquimaco et al., 2020).

Para chegar à atual delimitação de *Tachigali* foram necessários inúmeros ajustes taxonômicos (Dwyer, 1954; Dwyer, 1957; Silva; Lima, 2007; Maia, 2008) prevalecendo como caracteres diagnósticos de identificação o fruto do tipo criptosâmara; inflorescências paniculadas, com flores usualmente numerosas, pétalas espatuladas a lineares, estames subiguais a fortemente diferenciados, estípite adnado ao fundo ou à parede do receptáculo; folhas geralmente paripinadas, às vezes, portando pecíolo dilatado, associado à mirmecofilia (Lewis et al., 2005).

Historicamente o gênero *Tachigali* foi descrito por Aublet (1775), tendo como espécie tipo *Tachigali paniculata* Aubl. O nome genérico se origina do vernáculo “tachi”, derivado do Tupi-Guarani, que significa “picada de formiga”, devido ao fato de que muitas espécies têm relação estreita com formigas (mirmecofilia). Em alguns trabalhos, pode-se encontrar a denominação *Tachigalia*, que foi sugerida por Jussieu (Silva, 2007). No entanto, Lewis (1987), em sua obra *Legumes of Bahia*, restabeleceu a grafia original, *Tachigali*, para o gênero.

Vogel (1837), considerando algumas diferenças florais entre as espécies de *Tachigalia*, relacionadas aos estames, às pétalas e ao posicionamento do estípite do ovário, reconheceu o gênero *Sclerolobium*, apresentando como espécie tipo *Sclerolobium denudatum* Vog., ocorrente na Mata Atlântica da região Sudeste do Brasil. O nome genérico deriva de dois radicais gregos: “sclero” que significa duro e “lobium” que faz referência ao fruto pequeno. A partir de então, as espécies de *Tachigalia* foram redistribuídas entre os dois gêneros.

Dwyer (1954, 1957), em suas revisões para *Tachigalia* e *Sclerolobium*, reconheceu, respectivamente, 23 e 34 espécies para cada gênero e sugeriu que *Sclerolobium* deveria ser posicionado na tribo Amherstieae devido a sua afinidade com *Tachigalia*. Estabelecendo quatro seções: *Cosymbe*, *Eusclerolobium*, *Sclerolobiastrum* e *Oriens* e distinguindo as mesmas pelo tipo de tricoma, forma das pétalas, tamanho do pedicelo, superfície foliar, elevação das nervuras, densidade de tricomas nas pétalas e textura dos folíolos. Posteriormente, Polhill e Vidal (1981) incluíram *Tachigalia* e *Sclerolobium* na tribo Caesalpinieae, posicionando-os no grupo *Sclerolobium*, juntamente com *Diptychandra*, que engloba gêneros neotropicais distribuídos em diferentes biomas brasileiros. O grupo estabelecido foi baseado nas seguintes características: fruto do tipo criptosâmara, inflores-

cência em panículas terminais com racemos axilares, flores diminutas, hipanto cupular, anteras abertas lateralmente e estigma pequeno.

Lewis et al. (2005) reconheceram *Sclerolobium* na sinonímia de *Tachigali* e reavaliando as relações filogenéticas da tribo Caesalpinieae estabeleceram o grupo Tachigali, onde foram incluídos os gêneros *Tachigali*, *Arapatiella* e *Jacqueshuberia* devido à presença do hipanto cupular e do ovário estipitado.

Silva (2007), em sua dissertação, estudou a taxonomia de *Tachigali* na Mata Atlântica e fez o reconhecimento de dez espécies ocorrentes no local. As análises evidenciaram a necessidade de descrever uma nova espécie, estabelecer quatro novas combinações para as espécies transferidas do gênero *Sclerolobium* e reconhecer dois novos sinônimos. No mesmo ano, Silva e Lima (2007) apresentaram a revisão nomenclatural para as espécies brasileiras do gênero *Tachigali*, propondo novas combinações para *Sclerolobium*.

Maia (2008), na sua dissertação sobre a Filogenia Molecular do Grupo Sclerolobium, ao realizar a análise filogenética com os marcadores rps16 e ITS e testes de monofiletismo, concluiu que os gêneros *Tachigali* e *Sclerolobium* separadamente não são monofiléticos. Porém, os dois juntos constituem um único grupo monofilético, o que corrobora com a proposta de considerá-los sinônimos.

Van Der Werff (2008) escreveu uma sinopse sobre o gênero no norte da América do Sul (Colômbia, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Brasil amazônico, Equador e Peru), apresentado sugestões taxonômicas, descrições e uma chave para 54 espécies reconhecidas na área de estudo. Em 2010, ao estudar o gênero *Tachigali* na América Central, contribuiu com a descrição de uma nova espécie encontrada no Panamá, *Tachigali panamensis* Van Der Werff & N. Zamora. E, em 2013, descreveu mais duas espécies novas, *Tachigali acensis* Van Der Werff e *Tachigali pilosa* Van Der Werff, localizadas respectivamente no Brasil e no Peru (Van Der Werff, 2013).

Santana (2013), em sua monografia sobre o gênero *Tachigali* no Oeste da Bahia, estudou a taxonomia de quatro espécies ocorrentes na região: *Tachigali aurea* Tul., *Tachigali rubiginosa* (Mart. ex Tul.) Oliveira-Filho, *Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho e *Tachigali vulgaris* L. G. Silva e H. C. Lima.

Entre os gêneros de leguminosas arbóreas neotropicais, *Tachigali* se destaca pela riqueza de espécies em formações florestais, principalmente em margens de rios e áreas em regeneração. São plantas que possuem usos paisagísticos e madeireiros (Lorenzi, 1992). E, por apresentar associação com bactérias fixadoras de nitrogênio e rápido crescimento, também são indicadas para restauração ambiental (Sprent, 2000). Outra característica do gênero é a interação ecológica com formigas, denominada mirmecofilia, que se trata de uma relação mutualista na qual a planta serve de abrigo e fornece alimento para as formigas, enquanto as formigas protegem a planta do ataque de alguns herbívoros e microrganismos patógenos (Delabie et al., 2003).

Em meio a todos os potenciais de uso do gênero, observações preliminares apontam para a ampla utilização da madeira tanto por comunidades rurais quanto por indústrias madeireiras, especialmente da espécie *Tachigali vulgaris* (Barros et al., 2012). Por ser uma espécie pioneira, que frequentemente inicia a sucessão secundária em áreas abertas, *Tachigali vulgaris* é muito utilizada em áreas alteradas pela ação antrópica, devido à germinação intensa de suas sementes no solo, capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, rápido crescimento e elevada produção e deposição de folhas, possibilitando uma rápida formação de serapilheira (Dias et al., 1995). Além disso, sua madeira é amplamente utilizada por comunidades rurais do Centro-Oeste e

Nordeste, principalmente para cercas e construção civil, além de ser fonte para a produção de lenha e carvão vegetal, sendo inclusive indicada para plantios energéticos (Dias et al., 1992).

Apesar da relevância de *Tachigali* sob diferentes aspectos, mencionados anteriormente, as espécies do gênero apresentam delimitação geográfica imprecisa e escassez de informações taxonômicas, ecológicas e de ocorrência em habitats naturais (Silva, 2007). Neste contexto, o objetivo principal do presente capítulo foi realizar uma revisão histórica do gênero *Tachigali* e o estudo taxonômico da espécie *Tachigali vulgaris*, contribuindo com o conhecimento para futuras pesquisas, usos e aplicações da espécie.

Procedimento taxonômico

Foi realizado um extenso levantamento bibliográfico incluindo obras clássicas, revisões taxonômicas e artigos científicos referentes aos gêneros *Sclerolobium* e *Tachigali* para auxiliar na identificação dos espécimes de *Tachigali vulgaris* e examinadas as exsicatas incorporadas em herbários. As descrições taxonômicas foram baseadas principalmente em observações dos espécimes tratados nesse capítulo, feitas a partir da análise das coleções botânicas examinadas. A identificação da espécie foi realizada por comparação com material tipo, quando disponível, e com o auxílio de revisões bibliográficas, descrições taxonômicas, análises morfológicas e chaves analíticas.

As mensurações foram feitas com régua ou papel milimetrado. O comprimento das flores foi medido da base do pedicelo ao ápice dos estames e, das inflorescências, tomado a partir da última folha do ramo. Os folíolos foram mensurados desde o pecíolo ao ápice. Medidas das folhas de indivíduos jovens e rebrotos não foram adicionadas à diagnose.

Descrição do gênero

Tachigali Aubl. Hist. Pl. Guiane 1: 372, pl. 143, f. 1. 1775. Tipo: *Tachigali paniculata* Aubl.

Sclerolobium Vogel, Linnaea 11: 396. 1837. Tipo: *Sclerolobium denudatum* Vog.

Árvore. Estípula persistente ou decídua. Folha 2-10 (20) pares, geralmente paripinadas. Folíolos discolores, face adaxial verde escuro, ou quando pubescentes com um brilho verde dourado, face abaxial verde; cartáceos a coriáceos, distais geralmente maiores que os proximais; equiláteros ou inequiláteros; levemente curvados; lanceolados, ovais, oblongos ou elípticos; ápice agudo, obtuso ou acuminado, base assimétrica, aguda ou obtusa com margem revoluta ou reta; face adaxial/abaxial glabra a pubescente. Inflorescência paniculada; brácteas subuladas ou caducas. Flores pentâmeras, actinomorfas a zigomorfas, sésseis a pediceladas; receptáculo cupular; sépalas e pétalas amarelas ou brancas, lineares a espatuladas; carnosas a petaloides; estames 10, livres; gineceu com ovário unilocular, estipitado, estípide aderido ao fundo ou à parede do receptáculo. Fruto criptossâmara, oblongo, elíptico, achatado; verde ou marrom quando maduro; semente 1, oblonga a oval.

Descrição da espécie

Tachigali vulgaris L. G. Silva e H. C. Lima. Rodriguésia 58(2): 400. (2007).

Sclerolobium paniculatum Vogel, Linnaea 11: 397. 1837.

Árvore: (5)-8 m de altura (Figura 1). Estípula não vista. Folha: 2-4(6) pares de folíolos; pecíolos pubescentes, 4-6 cm de comprimento. Folíolos discolors; face adaxial verde dourado, face abaxial verde, coriáceos; reticulados; inequiláteros; pubescentes a velutinos; oblongos a ovais; ápice agudo a acuminado; base assimétrica; nervuras secundárias curvas, levemente proeminentes na face abaxial, assim como a principal; pares distais: 6-13 cm x 3-7 cm, medianos 9-10 cm x 3-6 cm, proximais 5-7 cm x 2-4 cm. Inflorescência paniculada, ocasionalmente excedendo às folhas mais altas, 10-22 cm de comprimento. Flor com pedicelo 2 mm de comprimento; receptáculo cupular, 1-2 mm de comprimento; sépalas 4-5 mm de comprimento, pubescentes, carnosas; pétalas amarelas, lineares, 2-3 mm x 1 mm, glabras, mas, com tricomas esparsos na base; estames em 10, livres, anteras dorsifixas, estiletos com tricomas marrons na parte basal; gineceu 5-10 mm de comprimento, ovário 1-2 mm de comprimento, com tricomas marrons, estípite 1 mm de comprimento, aderido ao fundo do receptáculo; unilocular. Fruto 4-5 cm x 1,5 cm, oblongo, marrom; semente 1, oval.

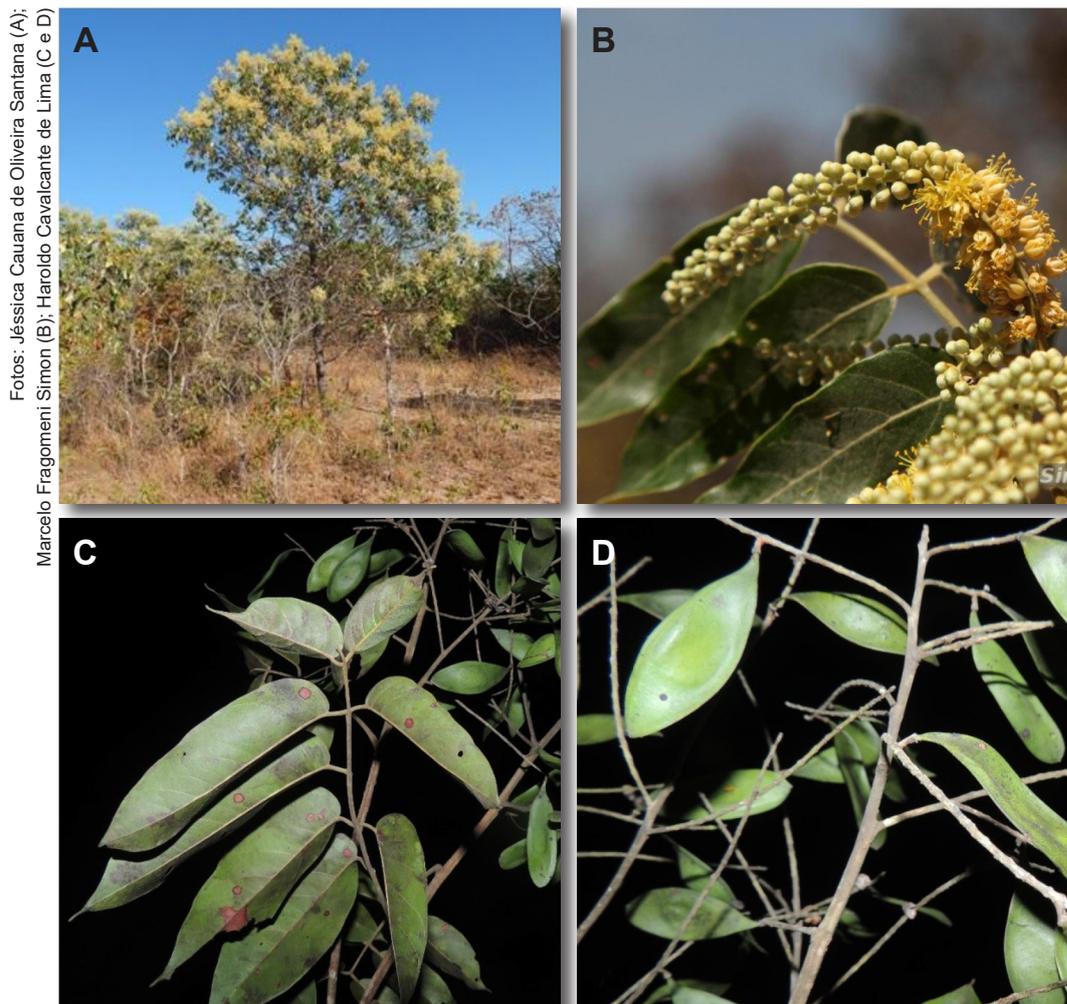


Figura 1. *Tachigali vulgaris* L. G. Silva e H. C. Lima: árvore (A), inflorescência (B), folha (C) e fruto criptossâmara (D).

Material examinado: BRASIL, BAHIA, Barreiras, 24.V.1984, Silva, 362, (HUEFS); 01.I.1987, Queiroz, 2028, (ALCB); 03.XI.1987, Queiroz, 2110, (HUEFS); 11.X.1994, Queiroz, 4091, (HUEFS); 04.II.2000, Lima, 20, (HUEFS); 04.II.2000, Ribeiro, 47, (HUEFS); 17.I.2001, Miranda, 3771, (HUEFS); 16.I.2012, Gama, 216, (BRBA); Caetité, 31.III.1984, Bohrer, 25, (HUEFS); 11.II.1997, Guedes, 5414, (ALCB); 27.VII.2007, Neves et. al., 1489, (HUEFS); Cocos, 06.VII.1984, Silva & Lima, 384, (ALCB); Correntina, 7.XI.1990, Rezende, 42, (UB); 17.XI.1991, Vieira et. al., 1116, (HUEFS); 21.XI.1991, Machado & Viollati, 329, (UB); 17.XI.1993, Vieira, 1103, (HUEFS); Formosa do Rio Preto, 14.X.1994, Queiroz, 4165, (HUEFS); 02.XI.2007, Araújo, 326, (HUEFS); 2.V.2009, Queiroz, et. al., 14507, (HUEFS); Jaborandi, 12.VIII.2006, Esteves, s.n., (HUEFS); Luiz Eduardo Magalhães, 29.XI.2003, Xavier et. al., 200, (CEPEC); Riachão das Neves, 11.XI.1989, Pinto, 2589, (ALCB); Rio de Contas, 24.III.1996, Guedes, 5028, (ALCB); São Desidério, 10.IV.1989, Walter et. al., 254, (UB); DISTRITO FEDERAL, Brasília, 21.IX.1994, Felfili et. al., 296, (UB); 05.X.1996, Walter, 3461, (HUEFS); 30.VIII.2003, Santos, 58, (UB); 23.IX.2004, Soares-Silva et. al., s.n., (UB); 8.XII.2004, Martins, 543, (UB); 6.X.2006, Santos et. al., 512, (UB); 2.VII.2009, Nogales, 51, (UB); 3.V.2012, Fernandes et. al., 81, (UB); Planaltina, 9.XI.2004, Pais, s.n., (UB); 5.IX.2013, Rios, 156, (UB); GOIÁS, Alto Paraíso de Goiás, 10.II.2002, Soares-Silva et. al., 1280, (UB); Caldas Novas, 20.III.1996, Silva, 3563, (HUEFS); Campinorte, 28.IV.2009, Queiroz, 14354, (HUEFS); Colinas do Sul, 01.IX.2005, Mendonça, 6021, (UB); Luziânia, 27.IX.2007, Cezare et. al., 154, (UB); Minaçu, 18.XI.1991, Walter, 706, (HUEFS); Pirenópolis, 27.IX.2002, Brito et. al., 95, (UB); 18.XII.2003, Brito et. al., 166, (UB); São Domingos, 25.V.1998, Rocha, 35, (UB); MARANHÃO, Caxias, 27.XI.1997, Félix, 8001, (HUEFS); Mirador, 04.XII.1991, Orlandi, 874, (HUEFS); Parnarama, 06.III.2009, Rodrigues, 16132, (HUEFS); Santa Quitéria do Maranhão, 09.XII.1991, Paula, 3345, (UB); MATO GROSSO, Barra do Garças, 02.IX.2000, Rosa, s.n., (UB); Cáceres, 29.XI.2008, Carniello, 2377, (HUEFS); Guarantã do Norte, 21.VIII.2013, Lima, 7703, (HUEFS); Nobres, 12.I.2005, Simon, 588, (UB); Nova Brasilândia, 03.XII.2003, Costa, 179, (HUEFS); Nova Xavantina, 23.XI.1998, Marimon, 176, (UB); 16.IV.1999, Viana, 142, (UB); Novo Santo Antônio, Solórzano et. al., 185, (UB); MINAS GERAIS, Arinos, 26.V.2004, Fonseca, 5416, (UB); Catas Altas, 10.VIII.2008, Rezende, 2411, (HUEFS); Chapada Gaúcha, 11.XI.2003, Martins & Gomes, 405, (UB); Paracatu, 11.XI.2008, Solórzano, 211, (UB); PIAUÍ, Amarante, 18.XI.2005, Miranda, 5212, (HUEFS); Brasileira, 14.XI.2001, Carvalho, 36, (HUEFS); Campo Maior, 07.I.1995, Dianese, s.n., (UB); Floriano, 24.XI.2005, Miranda, 5328, (HUEFS); Gilbués, 15.XI.1995, Alencar, 271, (HUEFS); Morada Nova, 12.XI.1991, Vieira, 993, (HUEFS); Monsenhor Gil, 24.V.1997, Félix, 7915, (HUEFS); Piracuruca, 23.VII.2007, Haidar et. al., 60, (UB); Piripiri, 01.XII.2008, Solórzano, 164, (UB); Sucupira do Riachão, 12.V.2012, Snak, 938, (HUEFS); TOCANTINS, Gurupi, 26.XII.1969, Eiten, 10033, (UB); Itacajá, 29.VII.2007, Minervino & Oliveira, 629, (UB); Mateiros, 03.X.2007, Haidar, 234, (UB); Pindorama do Tocantins, 16.X.2008, Oliveira et. al., 1375, (UB).

Nomes populares: carvoeiro, justa-conta, passuré, pau-bosta, pau-fedorento e tachi-branco.

Distribuição geográfica: Norte (Amazonas, Pará e Tocantins), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) (Figura 2).

Domínios Fitogeográficos: Amazônia, Caatinga e Cerrado.

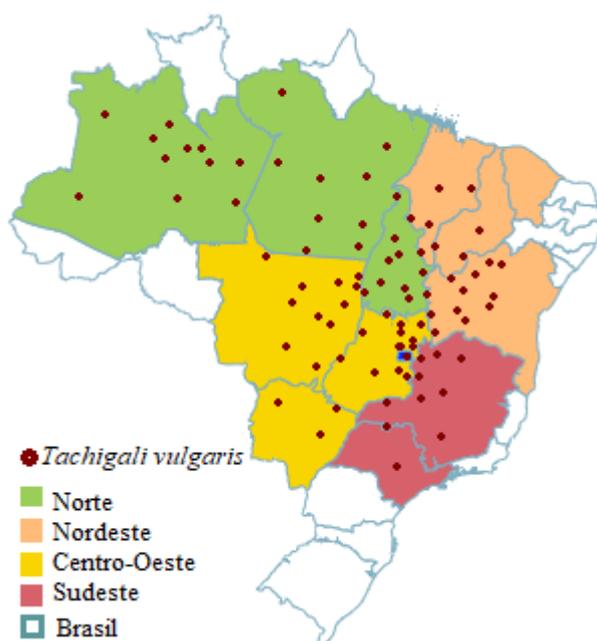


Figura 2. Distribuição geográfica de ocorrências de *Tachigali vulgaris* no Brasil.

Crédito: Jéssica Cauana de Oliveira Santana.

Comentários taxonômicos: Na revisão de nomenclatura taxonômica, Silva e Lima (2007) propuseram o nome *Tachigali vulgaris* L. G. Silva e H. C. Lima para substituir *Sclerolobium paniculatum* Vogel devido à existência de *Tachigali paniculata* Aubl. Segundo Dwyer (1957), o tipo de folíolo é uma das características mais utilizadas para diferenciar *Tachigali vulgaris*, por apresentar folíolos reticulados.

Considerações finais

Os gêneros *Tachigali* e *Sclerolobium* foram descritos em épocas diferentes por Aublet (1775) e Vogel (1837), respectivamente, e permaneceram separados por muito tempo apesar de compartilharem um conjunto de características morfológicas similares entre suas espécies. No entanto, algumas espécies transicionais não satisfaziam a condição para sua distinção em dois gêneros, que se diferenciavam, essencialmente, pela posição do estípite do ovário, onde em *Tachigali* estava adnato à parede do receptáculo e, em *Sclerolobium*, ao fundo do receptáculo (Dwyer, 1957), sendo necessários estudos taxonômicos mais abrangentes.

As espécies *Tachigali rubiginosa*, *Tachigali subvelutina* e *Tachigali vulgaris*, antes consideradas subespécies de *Sclerolobium paniculatum* estão morfológicamente relacionadas, onde reúnem características como: folha com número de folíolos (2-6 (8) pares), flores pequenas (menores que 1 cm de comprimento), estames subiguais e estípite adnado no fundo do receptáculo.

A morfologia do fruto se mostrou pouco promissora para identificar *Tachigali vulgaris*. As variações de tamanho, forma e cor dos frutos não apresentam padrões muito diferenciados em relação às outras espécies, sendo todos do tipo criptossâmara. Em geral, se limita a uma semente por fruto e pode apresentar a testa coriácea ou membranácea. Para as espécies do Cerrado, as flores são decisivas na diferenciação de *Tachigali aurea*, que apresenta pétalas espatuladas, enquanto as espécies *Tachigali rubiginosa*, *Tachigali subvelutina* e *Tachigali vulgaris* apresentam pétalas lineares. As pétalas lineares podem ser de difícil reconhecimento, porque são muito semelhantes em relação

aos filamentos dos estames, mas podem ser distinguidas por uma diferença de cor e pela posição. Já as características morfológicas dos folíolos são de uso limitado para a identificação. No entanto, para algumas espécies, estas características podem ser muito importantes, como no caso de *Tachigali subvelutina* cujo folíolo é revoluto e de *Tachigali vulgaris* com folíolo não revoluto.

Tachigali vulgaris apresenta grande potencial para reflorestamentos na região Amazônica e no Cerrado brasileiro (Oliveira et al., 2008; Farias et al., 2016; Martorano et al., 2018). Sua área de ocorrência é ampla, distribuindo-se nas regiões Norte (Amazonas, Pará e Tocantins), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo), nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga e Cerrado (Huamantupa-Chuquimaco et al., 2020), indicando grande capacidade de adaptação a uma ampla variabilidade climática e a diferentes tipos de solos (Castro et al., 1998).

Em observações relatadas em amostras de plantios, a espécie apresenta rápido crescimento, boa forma de fuste, capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e de aumentar a ciclagem de nutrientes e a matéria orgânica no solo, pela alta produção de serapilheira (Castro et al., 1998; Mochiutti et al., 2006). A madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta potencial para ser utilizada nos segmentos industriais de móveis, produção de lâminas, construções leves, utensílios, embalagens e revestimentos internos (Carvalho, 2003). E possui características comparáveis às espécies tradicionalmente utilizadas para energia, como o eucalipto (Tomaselli et al., 1983), sendo a produção de lenha e carvão a principal finalidade dos plantios experimentais com *Tachigali vulgaris* (Lima et al., 2022). Além disso, o cultivo do tachi-branco pode promover a melhoria na atividade biológica do solo e a recuperação de áreas alteradas (Mochiuti et al., 2006).

Assim, o conhecimento sobre a taxonomia de *Tachigali vulgaris* será uma importante ferramenta para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas com a espécie em diferentes áreas científicas, promovendo o aumento e o alcance das informações sobre o seu uso e aplicabilidade nas esferas ambiental, científica e econômica.

Agradecimentos

Aos curadores dos herbários visitados: Herbário Alexandre Leal Costa (ALCB), Herbário BRBA da Universidade Federal do Oeste da Bahia, Herbário do Centro de Pesquisas do Cacau (Cepec), Herbário HUEFS da Universidade Estadual de Feira de Santana e Herbário UB da Universidade de Brasília. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Oeste da Bahia pelo suporte oferecido. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa de mestrado concedida.

Financiamento

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Referências

- AUBLET, F. Tachigali. **Histoire des plantes de la Guiane François**. Paris, 1775. p. 372.
- BARROS, S. V.; NASCIMENTO, C. C. do; AZEVEDO, C. P. de. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no Amazonas: alternativa para produção de lenha. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 725-732, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i4.22514>.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 627 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229483/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Livro.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- CASTRO, A. W. V.; FARIAS NETO, J. T. de; CAVALCANTE, E. S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum*, Vogel). **Acta Amazonica**, v. 82, n. 2, p. 141-146, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282146>.
- DELABIE, J. H. C.; OSPINA, M.; ZABALA, G. Relaciones entre hormigas y plantas: una introducción. In: FERNÁNDEZ, F. (ed.). **Introducción a las hormigas de la región neotropical**. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2003. p. 167-180. Disponível em: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 out. 2022.
- DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, Santarém, 1993. **Anais** [...]. Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical/USDA-Serviço Florestal. Belém: Embrapa-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- DIAS, L. E.; JUCKSCH, J.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 135-143, 1992. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/396476/1/Formacao-de-mudas-de-taxi.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- DWYER, J. D. The Tropical American genus *Sclerolobium* Vogel (Caesalpineaceae). **Lloydia**, v. 20, n. 2, p. 67-118, 1957.
- DWYER, J. D. The Tropical American genus *Tachigalia* Aubl. (Caesalpinaceae). **Annal of the Missouri Botanical Garden**, p. 223-260, 1954.
- FARIAS, J. de; MARIMON, B. S.; SILVA, L. de C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JÚNIOR, B. H. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; CARDOSO, D. B. O. S.; CARDOSO, L. J. T.; SANTANA, J. C. O.; SIMON, M. F.; COSTA, J. A. S.; LIMA, H. C. **Tachigali** in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23195>. Acesso em: 19 out. 2022.
- KOENEN, E. J. M.; OJEDA, D. I.; BAKKER, F. T.; WIERINGA, J. J.; KIDNER, C.; HARDY, O. J.; PENNINGTON, R. T.; HERENDEEN, P. S.; BRUNEAU, A.; HUGHES, C. E. The origin of the legumes is a complex paleopolyploid phylogenomic tangle closely associated with the Cretaceous–Paleogene (K-Pg) mass extinction event. **Systematic Biology**, v. 70, n. 3, p. 508-526, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa041>. Acesso em: 19 out. 2022.
- LEWIS, G. P. **Legumes of Bahia**. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 1987. 369 p.
- LEWIS, G. P.; SCHRIRE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. **Legumes of the world**. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 2005. 592 p.
- LIMA, M. D. R.; MORAES, L. G.; SILVA, R. C. C.; BARROS JÚNIOR, U. O.; BUFALINO, L.; SOARES, A. A. V.; ASSIS-PEREIRA, G.; GONÇALVES, D. A.; TOMAZELLO-FILHO, M.; PROTÁSIO, T. P. *Tachigali vulgaris* energy forests: understanding spacing, age, and stem type effects on tree growth patterns and wood density. **New Forests**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09932-y>.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992. 352 p.

LPWG - The Legume Phylogeny Working Group. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. **Taxon**, v. 66 n. 1, p. 44-77, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12705/661.3>.

MAIA, V. H. S. G. **Filogenia molecular do grupo *Sclerolobium* (Caesalpinieae, Leguminosae)**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Escola Nacional de Botânica, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-OnLine.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. de; MELÉM JÚNIOR, N. J. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de tachi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 52, p. 3-20, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AP/11333/1/BPF_52_p3-20.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

OLIVEIRA, I. da R. M.; VALE, A. T. do; MELO, J. T. de; COSTA, A. F. da; GONÇALEZ, J. C. Biomassa e características da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 351-357, 2008.

POLHILL, R. M.; VIDAL, J. E. Caesalpinieae. In: POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. (ed.). **Advances in legume systematics**. London: Royal Botanic Gardens, Kew, 1981. p. 81-95.

SANTANA, J. C. de O. **O gênero *Tachigali* Aublet (Leguminosae - Caesalpinioideae) na região oeste da Bahia**. 2013. 54 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal da Bahia, Barreiras.

SILVA L. F. G. da; LIMA H. C. Mudanças nomenclaturais no gênero *Tachigali* Aubl. (Leguminosae – Caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 397-401, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860200758214>.

SILVA L. F. G. da. **Taxonomia de *Tachigali* Aublet (Leguminosae Caesalpinioideae) na Mata Atlântica**. 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro.

SPRENT, J. Nodulation as a taxonomic tool. In: HERENDEEN, P. S.; BRUNEAU, A. **Advances in Legume Systematics**. London: Royal Botanical Gardens, Kew, 2000. p. 1-44.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de tachi-branco da terra firme (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL) para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6/7, p. 33-44, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaselli.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

VAN DER WERFF, H. A synopsis of the genus *Tachigali* (Leguminosae: Caesalpinioideae) in Northern South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 95, p. 618-661, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3417/2007159>.

VAN DER WERFF, H. Two new species of *Tachigali* (Leguminosae) from Brazil and Peru. **Kew Bulletin**, v. 68, p. 295-299, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12225-013-9455-z>.

VAN DER WERFF, H.; ZAMORRA, N. A. Notes on *Tachigali* (Leguminosae) in Central America. **Harvard Papers in Botany**, v. 15, p. 149-153, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3100/025.015.0108>.

VOGEL, T. De Caesalpinieis Brasiliae. **Linnaea**, v. 1, n. 11, p. 393-398, 1837.

Zoneamento topoclimático da Amazônia Legal: Estratégias de planejamento voltadas ao desenvolvimento sustentável

Lucieta Guerreiro Martorano

Introdução

No Brasil, as ações de pesquisas com foco no zoneamento usando variáveis agrometeorológicas para espécies florestais têm como marco o trabalho de Golfari et al. (1978) visando à indicação de áreas potenciais ao cultivo de eucalipto e pinus, sendo consideradas variáveis como: altitude, tipologia climática, temperatura do ar, principalmente analisando-se as épocas mais propícias às ocorrências de geadas, bem como a precipitação pluvial média anual e a deficiência hídrica. O tema clima, ao se analisar as interações no sistema solo-planta-atmosfera, tem papel importante na biogeografia de espécies (Elith; Leathwick, 2009; Franklin, 2013).

A precipitação pluvial anual é a variável climática mais fortemente relacionada à produção de biomassa acima do solo (Poorter et al., 2015), seguida de outras variáveis tais como diâmetro médio do caule das árvores e a riqueza de espécies características do bioma Amazônia. Todavia, a cobertura vegetal vem sofrendo pressão pelo avanço da fronteira agrícola. O desflorestamento promove efeitos em diferentes respostas agrometeorológicas, principalmente no processo de evapotranspiração, que influencia o regime pluvial e as condições térmicas (Sampaio et al., 2007), pois o solo sem cobertura vegetal tende a receber maiores cargas térmicas pela incidência solar direta (Ni et al., 2019).

As análises climáticas auxiliam na identificação do estado médio da atmosfera. Na Amazônia, as elevadas temperaturas e altas cotas pluviais modulam a variabilidade espaço-temporal (Marengo; Espinoza, 2016). Infelizmente, a rede de estações meteorológicas ainda é deficitária, pois as estimativas apontaram que existe uma estação para cada 90.000 km² (Moraes et al., 2020), indicando, nitidamente, que existem áreas com vazios no monitoramento agrometeorológico da região.

As pesquisas de Thornthwaite e Marther (1955) apontaram a importância de analisar dados climáticos associados à topografia de uma determinada área de interesse. Evidentemente, outras variáveis respostas devem ser analisadas visando ampliar os fatores que auxiliam na expressão do potencial e, ou nas condições mais limitantes em áreas principalmente de paisagens em vias de degradação ou, até degradadas, como na Amazônia. A recomposição da paisagem é fundamental para incorporar essas áreas ao sistema produtivo, agregando valor aos produtores rurais, além de promover adicionalidades ao cumprimento de metas mundiais quanto à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) pelo desflorestamento na região.

O processo restauratório demanda critérios capazes de subsidiar à tomada de decisão. Ao planejar os tratamentos silviculturais visando ao equilíbrio do ecossistema florestal, devem ser considerados aspectos inerentes às espécies, bem como todo o processo dinâmico de recuperação e reestruturação florestal (Carvalho, 2001). A seleção de espécies potenciais para fins comerciais (refloresta-

mento) ou ambientais (restauração ou recuperação de paisagens degradadas) ainda apresentam lacunas sobre espécies florestais, de acordo com as características ambientais de cada bioma brasileiro (Carvalho, 2010; Rolim et al., 2020).

Na recomposição de paisagens, em geral, são selecionadas espécies com características silviculturais e condições logísticas e operacionais que viabilizem o plantio e o cultivo em escala produtiva. Assim, alguns aspectos são importantes, tais como: disponibilidade de mudas, identificação de espécies que apresentem potencial para usos múltiplos (madeireiro e, ou não madeireiro), bem como a identificação de oportunidades de mercados. Todavia, fatores essenciais como as condições topoclimáticas e edáficas são pouco conhecidos ou não considerados, o que pode acarretar o insucesso em projetos que incluam espécies em plantios florestais, como o *Tachigali vulgaris* (Sousa et al., 2016). Contrariamente, evidências de desempenho foram obtidas por Martorano et al. (2016), em experiências de campo com sistema de integração com soja (*Glycine max* L.) e paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), em áreas potenciais para essa espécie florestal nativa da Amazônia identificadas por Monteiro et al. (2010) e Monteiro (2013).

O zoneamento topoclimático relaciona variáveis bióticas e abióticas com vistas a identificar áreas potenciais de inclusão de espécies nativas em sistemas produtivos sustentáveis (Martorano et al., 2018). Neste cenário, este capítulo apresenta uma síntese sobre o zoneamento topoclimático de espécies florestais, tendo como foco o *Tachigali vulgaris*.

Variáveis analisadas

São utilizados dados de séries históricas capazes de apontar condições climáticas como sazonalidades, oscilações, tendências positivas e, ou negativas e condições médias nas áreas de interesse. Com uso de dados de normais climatológicas (INMET, 2018), é possível avaliar o padrão médio da atmosfera, com base em séries temporais de trinta anos, à semelhança das análises apresentadas em Martorano et al. (2021).

As bases são oriundas de monitoramento meteorológico em estações convencionais e automáticas de superfície que integram a rede de observações, principalmente aquelas coordenadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), integrada à rede da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Outros dados disponibilizados pelo Sistema de Observação Climática Global (GCOS) são utilizados acessando a CLIMAT (OMM), além de dados climáticos globais mensais e outros registros climáticos mundiais (MCDW), considerando séries temporais produzidas por décadas, fundamentais nas análises térmicas (Jones et al., 2012; Morice et al., 2012).

A metodologia apresenta inovações, pois é capaz de apontar áreas com alto, médio e baixo potencial topoclimático para o cultivo espécies nativas da Amazônia. Informações como essas visam subsidiar os plantios, levando-se em consideração diferentes variáveis como: ocorrência natural, época de expressão das fenofases, tipologia climática, deficiência hídrica, total de chuva no trimestre menos chuvoso, temperatura média anual, temperaturas extremas (máximas e mínimas), amplitudes térmicas nos períodos de expressão das fenofases, total de chuva nos meses abaixo de 100 mm, total de chuva no trimestre abaixo de 60 mm, total de chuva anual separada em faixas de 500 mm, umidade média do ar anual, deficiência hídrica considerando-se a capacidade de água disponível no solo (CAD = 300 mm) e déficit de pressão de vapor. Nas avaliações, devem ser analisadas as respostas das espécies às condições ambientais nos locais de ocorrências (Martorano et al., 2011).

É importante enfatizar que são muito limitadas as informações referentes às respostas fenológicas das espécies para subsidiar as análises topoclimáticas. Nesse processo são consideradas muitas informações. Os registros em herbários passam a ser importantes fontes de dados tais como: época do ano em que os materiais foram coletados e mês em que os registros nos herbários foram realizados com informações ecofisiológicas. Além disso, são realizados levantamentos bibliográficos para verificar se há informações geoespaciais. Os pontos de referências nos relatórios e publicações são as maiores relíquias para obtenção de informações necessárias ao sistema de informação geográfica (SIG), antes de gerar o zoneamento topoclimático.

Os critérios selecionados no zoneamento estão relacionados ao fator ambiental e restritos às áreas antropizadas, assim como à legislação florestal vigente. Investigações na literatura, expedições de campo, consultas a especialistas e avaliações topoclimáticas auxiliaram na definição dos critérios para a espécie (Figura 1).

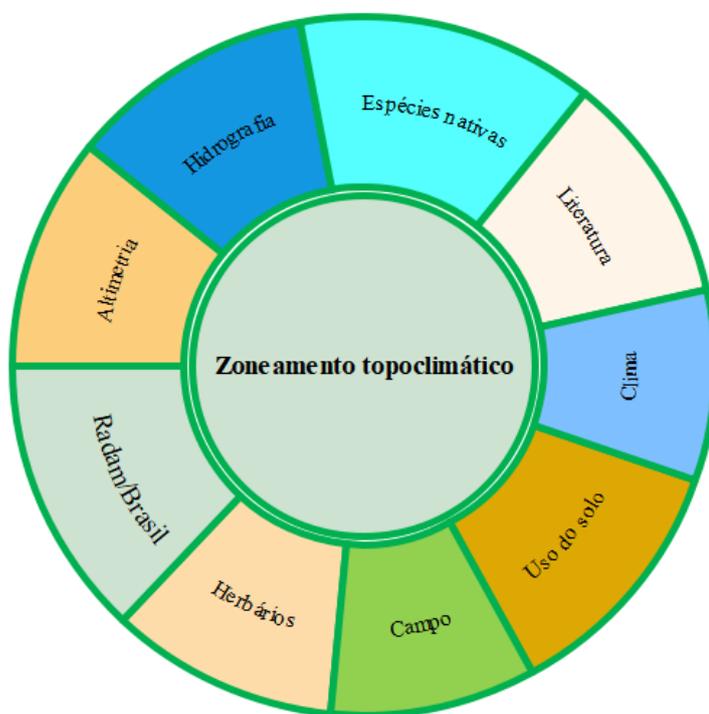


Figura 1. Bases de dados utilizadas no zoneamento topoclimático de espécies nativas da Amazônia Legal.

Ilustração: Lucieta Guerreiro Martorano.

Assim, o conjunto de critérios é adotado, como aquele usado ao zoneamento de *T. vulgaris* na Amazônia Legal, conforme descrito a seguir:

- Precipitação pluvial no trimestre menos chuvoso (mm): A oferta hídrica no período menos chuvoso é um fator considerado importante para o estabelecimento de plantios florestais de *T. vulgaris*, pois a espécie apresenta restrições ao desenvolvimento potencial sob déficits hídricos variando de 150-250 mm (Martorano et al., 2011). A deficiência de água no solo pode alterar o comportamento fisiológico, reduzir as taxas evapotranspiratórias, diminuir o turgor foliar, alterar o fechamento estomático e comprometer o potencial produtivo da espécie. Na condição de déficit hídrico, pode ocorrer a perda funcional em níveis citoplasmáticos.
- Precipitação pluvial anual (mm): O total médio anual de chuva indica a oferta pluvial ao longo do ano, que varia na área de distribuição da espécie. Próximo à linha do equador, a precipitação pluvial é, em média, acima de 2.000 mm, todavia existem áreas ao noroeste da bacia que registram

valores acima de 3.000 mm. A oferta pluvial geralmente diminui das regiões equatoriais em direção aos trópicos e ao nordeste, os quais apresentam valores menores que 1.500 mm (Ronchail et al., 2002).

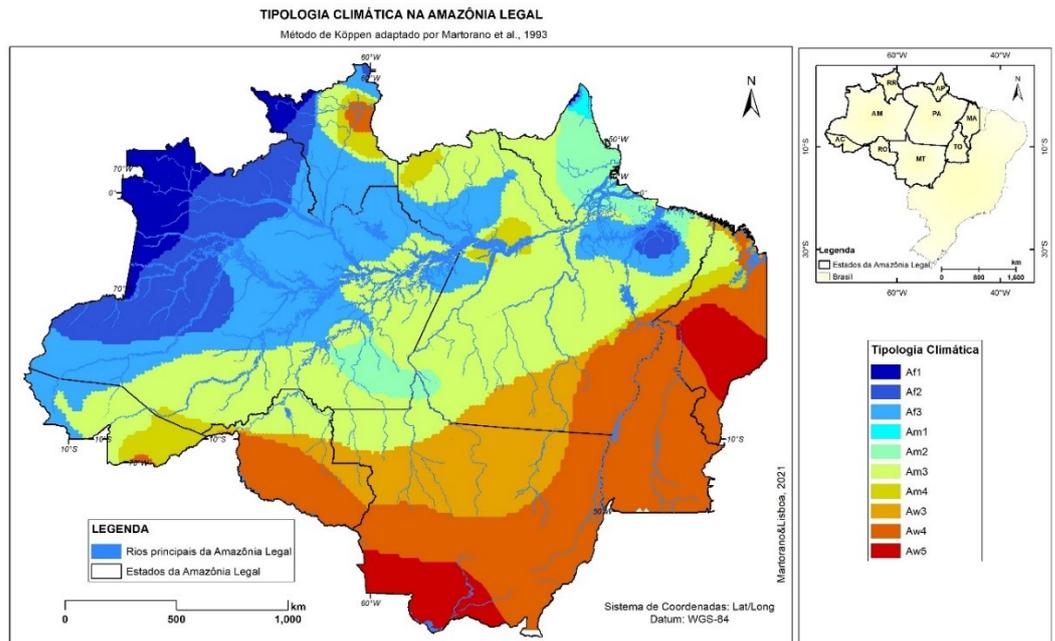
- Temperatura máxima do ar (°C): As altas temperaturas influenciam nos processos fisiológicos das plantas, na germinação das sementes e nas atividades das raízes (Larcher, 2004). Essa variável tem fundamental importância e deve ser considerada no planejamento de plantios florestais, pois é capaz de causar alterações nos processos ecológicos altamente sensíveis. Além disso, tendências de aquecimento têm sido observadas na região Amazônica de forma estatisticamente significativa, a partir de 1970 (Victoria et al., 1998).
- Temperatura média do ar (°C): As médias de temperatura revelam padrões térmicos registrados na região Amazônica, bem como anomalias que podem ser positivas e negativas e, até mesmo, relacionadas às mudanças climáticas. Apesar de pouco variável, ela deve ser adotada em zoneamentos por influenciar nas taxas das reações metabólicas nas células das plantas, nos processos fenológicos e no incremento diamétrico das espécies florestais (Kanieski et al., 2012).
- Temperatura mínima do ar (°C): É uma variável meteorológica que, juntamente com a temperatura máxima, permite avaliar a amplitude térmica de um local ou a tolerância térmica de uma espécie. O tachi-branco é uma espécie sensível à temperatura mínima, apresentando maiores incrementos em altura em áreas com temperaturas elevadas (Lima, 2004). Portanto, considera-se essa variável como fator limitante para o plantio da espécie e necessária para inclusão no zoneamento.
- Umidade relativa do ar (°C): As taxas de umidade relativa do ar podem interferir na escolha de áreas para o plantio na Amazônia, pois ela varia em função de fatores topoclimáticos (exposição e configuração do terreno) e microclimáticos (cobertura do terreno). Além disso, a alta umidade do ar pode favorecer a contaminação por patógenos (Pereira et al., 2002).
- Declividade (%): É uma variável topográfica importante na distribuição das espécies vegetais, porque influencia no metabolismo das plantas. O tachi-branco ocorre predominantemente em áreas abaixo de 200 m de altitude (Martorano et al., 2011). Nas menores altitudes, as temperaturas são mais elevadas, conseqüentemente ocorre maior demanda de evapotranspiração pela atmosfera e menores valores de condutância estomática, devido ao maior déficit de pressão de vapor. Por outro lado, conforme a elevação, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida, assim como as taxas fotossintéticas e respiratórias (Larcher, 2004; Taiz; Zeiger, 2013).
- Áreas antropizadas: Locais que sofreram algum tipo de alteração pela ação do homem, os quais se encontram ou não em estádios de degradação. Esse é um critério restritivo de caráter espacial e boleano (sim ou não).

Tipologia climática na Amazônia Legal

A região Amazônica é caracterizada por condições típicas de clima quente e úmido, sendo possível identificar zonas tipológicas dominantes, considerando a classificação de Köppen, a partir da adaptação proposta por Martorano et al. (1993, 2017). Na Amazônia Legal existem dez zonas tipológicas, onde 31% pertencem aos subtipos Af₁, Af₂ e Af₃, predominantemente no estado do Amazonas. Em 43% da região são encontrados os subtipos Am₁, Am₂, Am₃, Am₄ e os 26% restantes apresentam condições climáticas típicas de Aw₃, Aw₄ e Aw₅ (Figura 2).

Figura 2. Mapa de tipologia climática, a partir de adaptação do método de Köppen, apresentada por Martorano et al. (1993).

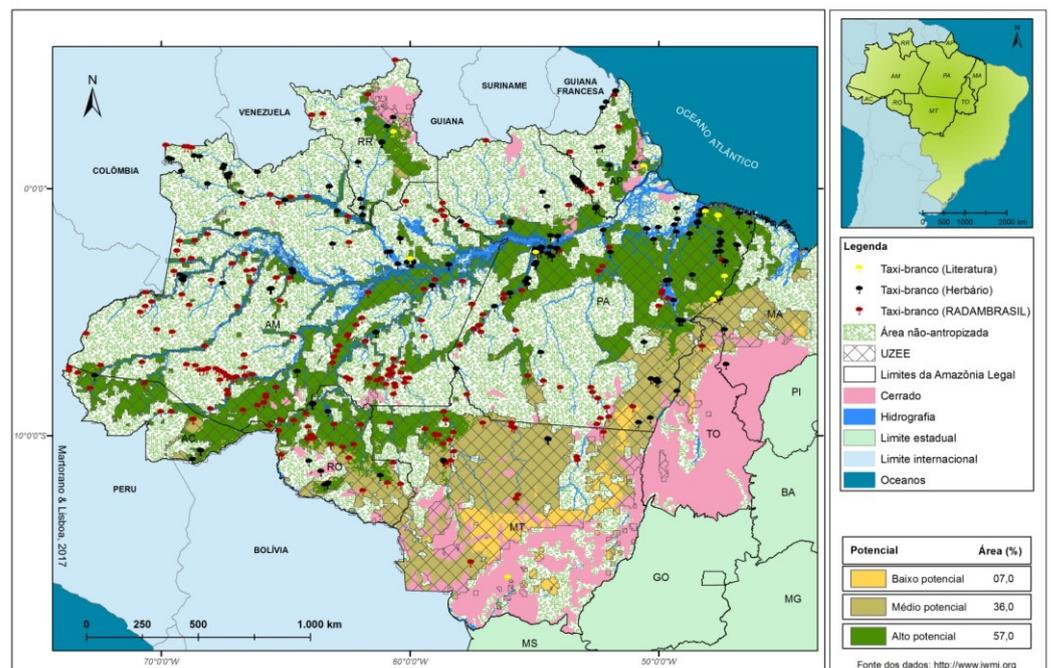
Fonte: Martorano et al. (2017).



Ao se analisar as áreas antropizadas, é possível contabilizar que 57% se enquadram na faixa de alto potencial de inclusão da espécie; 36% mostram médio potencial e apenas 7% apresentam baixo potencial para plantio dessa espécie na Amazônia Legal (Figura 3). Os estudos realizados com o tachi-branco, conforme Terra (2017), apontaram rendimentos gravimétricos em carvão vegetal e em carbono fixo superiores aos de *Eucalyptus grandis*, reforçando o potencial energético da espécie e sua inclusão em programas silviculturais na região. Martorano et al. (2018) destacaram a importância de analisar os estoques de água no solo, pois déficits hídricos superiores a 250 mm são restritivos ao desempenho potencial do tachi-branco.

Figura 3. Zoneamento topo-climático de *Tachigali vulgaris* para subsidiar estratégias de restauração na Amazônia Legal.

Fonte: Martorano et al. (2018).



Considerações finais

O zoneamento topoclimático de *T. vulgaris* apontou que, predominantemente na Amazônia Legal, é possível sua inclusão pelo alto potencial produtivo em decorrência de condições de clima e altimetria. Por outro lado, nos 36% que apresentaram médio potencial, o fator limitante foi escassez de água no solo, indicando que em cultivos irrigados, pode ser estratégica a inclusão dessa espécie em sistemas produtivos integrados, ampliando-se para 93% do total de área antropizada na região, somando as áreas com alto potencial sem irrigação e àquelas de médio potencial que demandam de reposição hídrica no solo.

Na prática, a definição de áreas potenciais ao plantio de espécies florestais nativas de valor econômico visa subsidiar à tomada de decisão, tanto voltadas ao cultivo de espécies madeireiras quanto de não madeireiras na região. A inclusão de espécies em áreas de alto potencial, além de subsidiar a adequação ambiental de propriedades rurais, apontam novas oportunidades bioeconômicas, potencializando a venda de produtos madeireiros e não madeireiros, a partir da inclusão das espécies com alto potencial topoclimático em áreas já desflorestadas e, muitas em vias de degradação do solo pelo processo erosivo das chuvas. Os plantios florestais também potencializam a certificação em programas de crédito de carbono e pagamentos por serviços ambientais (PSA).

A abordagem metodológica de zoneamento pode ser aplicada às 30 espécies florestais identificadas por Rolim et al. (2020), inclusive de *T. vulgaris*, para os biomas Amazônia e Mata Atlântica com vistas a direcionar, em curto prazo, as áreas potenciais para investimentos em silvicultura de nativas com maior percentual de acerto em termos de adaptação ambiental associada ao potencial produtivo das espécies

A indicação topoclimática se trata de uma das etapas do processo, pois os plantios florestais dependem da oferta de sementes com qualidade e quantidade para atender às demandas dos silvicultores. Existe um legado da silvicultura na Amazônia Oriental com plantios experimentais de longa duração implantados pela Embrapa. Torna-se urgente a união da comunidade científica para intensificar as pesquisas nas parcelas com cerca de 21 espécies, inclusive de *T. vulgaris*, plantadas em Belterra entre 1975 e 1977 que estão sendo ameaçadas pela pressão antrópica, inclusive com riscos de perdas desses materiais genéticos em experimento de longa duração na Amazônia.

A inclusão de espécies nativas nos sistemas de produção integrados tende a ampliar a oferta de produtos madeireiros e não madeireiros com base nas condições topoclimáticas tropicais. O zoneamento topoclimático visa subsidiar decisões silviculturais, pois aponta inclusive registros nos herbários com respostas fenológicas de *T. vulgaris* por trimestre associadas à floração e à frutificação. Essa espécie possui características ecológicas como alta plasticidade, ocorrendo em sob diferentes condições edafoclimáticas (Dias et al., 1995), mas na Amazônia, predominantemente as ocorrências estão em áreas com cotas altimétricas inferiores a 200 m e cujos déficits hídricos anuais não podem ultrapassar os 250 mm (Martorano et al., 2018).

O aumento da oferta de plantios para atender às demandas por produtos madeireiros oriundos de plantios florestais de espécies nativas de bioma tropical como da Amazônia, além de reduzir a pressão pelo desmatamento em áreas de floresta nativa, aponta para o surgimento de uma nova fronteira na silvicultura nacional capaz de atrair novos mercados em nível nacional e internacional. A recomposição de áreas degradadas aumenta a conectividade ecológica, preserva a biodiversidade nos remanescentes florestais nativos, amplia as áreas de regulação térmica pelo componente arbóreo, garante a remoção de milhões de toneladas de carbono da atmosfera e, principalmente

aumenta a oferta de empregos com uma economia mais sustentável, inclusive com potencial de apoio financiamento em programas públicos e privados.

Consiste em grande desafio, sobretudo no bioma Amazônia, criar oportunidades para fornecimento de produtos madeireiros e não madeireiros de espécies tropicais oriundas de florestas nativas. Programas que incentivem à expansão de plantios florestais podem combater a triste realidade neste bioma pela constante pressão por retirada de madeira de forma ilegal em áreas de florestas nativas. O zoneamento topoclimático visa subsidiar a instalação de polos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de espécies nativas como, por exemplo, nas áreas com alto potencial e médio para inclusão de *T. vulgaris* em plantios florestais. Considerando-se que essa espécie pode ser plantada em grande parte nas áreas já antropizadas, com base nas informações apresentadas pelo zoneamento topoclimático, os plantios apresentam maiores chances de sucesso quando incluem essa espécie em cultivos solteiros ou integrados.

O desmatamento na Amazônia vem crescendo, tornando-se altamente preocupante, ameaçando a perda da biodiversidade neste bioma. O desenvolvimento de novas pesquisas e inovações tecnológicas para permitir a mecanização para facilitar o manejo, bem como a identificação de novos bioprodutos são estratégias conservacionistas capazes de garantir a replicabilidade e inclusão da espécie para usos múltiplos. Há necessidade de se ampliar as parcerias técnico-científicas, com empreendedores e instituições de fomento à pesquisa. Os plantios florestais devem ser recomendados nas áreas com alto potencial tanto homogêneos ou em arranjos em sistemas de cultivos integrados.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais aos organizadores do “I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*” pelo convite para colaborar no evento como palestrante. Não poderia deixar de agradecer aos colegas pesquisadores Leila Sheila Lisboa, Silvio Brienza Júnior, José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes e Daiana Carolina Monteiro Tourne pela parceria técnico-científica no zoneamento topoclimático de espécies nativas da Amazônia. Os agradecimentos são extensivos à Embrapa Amazônia Oriental/NAPT-MA pela oportunidade em desenvolver pesquisas na área de agrometeorologia, bem como ao Programa de Pós-Graduação Rede Bionorte da Universidade Federal do Pará (Ufra) e ao Programa de Pós-Graduação Sociedade, Desenvolvimento e Natureza da Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa) pela oportunidade em colaborar na formação de novos doutores na Amazônia.

Referências

CARVALHO, J. O. P. de; CARVALHO, M. S. P. de; BAIMA, A. M. V.; MIRANDA, I. L.; SOARES, M. H. M. **Informações básicas sobre ecologia e silvicultura de cinco espécies arbóreas da Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 29 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 101). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63525/1/Oriental-Doc101.PDF>. Acesso em: 27 out. 2022. Acesso em: 19 out. 2022.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 644 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229491/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-4red.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDARIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém. **Anais** [...]. Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical: USDA-Serviço Florestal; Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 677-697, 2009. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>. Acesso em: 19 out. 2022.

FRANKLIN, J. Species distribution models in conservation biogeography: developments and challenges. **Diversity and Distributions**, v. 19, n. 10, p. 1217-1223, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12125>.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**: Prefácio 1981-2010. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 19 out. 2022.

JONES, P. D.; LISTER, D. H.; OSBORN, T. J.; HARPAN, C.; SALMON, M.; MORICE, C. P. Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2010. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, D05127, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011JD017139>.

KANIESKI, M. R.; LONGHI-SANTOS, T. L.; GRAF, J. N.; SOUZA, T.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C. V. Influência da precipitação e da temperatura no incremento diamétrico de espécies florestais aluviais em Araucária-PR. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 17-25, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.003>.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LIMA, R. M. B. de. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts, and floods in Amazonia: causes, trends, and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 1033-1050, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.

MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; BRIENZA JÚNIOR, S.; LISBOA, L. S.; ESPÍRITO SANTO, J. M.; ALMEIDA, R. F. Top-bioclimate conditions associated with the natural occurrence of two Amazonian tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 144, p. 111–122, 2011.

MARTORANO, L. G.; NECHET, D.; PEREIRA, L. C. Tipologia climática do estado do Pará: adaptação do método de Köppen. **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, p. 45-46, 1993.

MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F.) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-Online.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MARTORANO, L. G.; SIVIERO, M. A.; TOURNE, D. C. M.; VIEIRA, S. B.; FITZJARRALD, D. R.; VETTORAZZI, C. A.; BRIENZA JÚNIOR, S.; YEARED, J. A. G.; MEYERING, E.; LISBOA, L. S. Agriculture, and forest: a sustainable strategy in the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 1136-1143, 2016.

MARTORANO, L. G.; SOARES, W. B.; MORAES, J. R. da S. C. de; NASCIMENTO, W.; APARECIDO, L. E. de O.; VILLA, P. M. Climatology of air temperature in Belterra: thermal regulation ecosystem services provided by the Tapajós National Forest in the Amazon. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 2, p. 327-337, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863620015>.

MARTORANO, L. G.; VITORINO, M. I.; SILVA, B. P. P. C.; MORAES, J. R. S. C.; LISBOA, L. S.; SOTTA, E. D.; REICHARDT, K. Climate conditions in the eastern Amazon: rainfall variability in Belém and indicative of soil water deficit. **African Journal Agricultural Research**, v. 12, p. 1801-1810, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11801>.

MONTEIRO, D. C. A. **Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia**. 2013. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- MONTEIRO, D. C. A.; MARTORANO, L. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; LISBOA, L. S.; FERREIRA, M. do S. G.; MARTORANO, P. G. Condições topobioclimáticas preferenciais para plantios energéticos de taxi-branco (*Sclerobium paniculatum* Vogel) na Amazônia Oriental Brasileira. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 62., Natal, 2010. **Anais [...]**. Natal: SBPC, 2010. p.1-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30000/1/3343.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- MONTEIRO, D. C. A.; VETTORAZZI, C. A.; MARTORANO, L. G.; DIAS, C. T. S.; BRIENZA JÚNIOR, S.; LISBOA, L. S. S.; MONTEIRO, L. D. A.; MELLO, M. N.; BIASE, A. G. Dinâmica espectro-temporal modis em plantios de paricá (*Schizobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) associada a diferentes condições hídricas do solo na Amazônia brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18, Belém, 2013. **Anais [...]**. Belém, 2013. p.1-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/975470/1/DaianaMonteiroCBAGRO2013.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- MORAES, J. R. S. C.; ROLIM, G. S.; MARTORANO, L. G.; APARECIDO, L. E. O.; BISPO, R. C.; VALERIANO, T. T. B.; ESTEVES, J. T. Performance of the ECMWF in air temperature and precipitation estimates in the Brazilian Amazon. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, p. 803-816, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03231-2>.
- MORICE, C.P.; KENNEDY, J. J.; RAYNER, N. A.; JONES, P. D. Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, D08101, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011JD017187>.
- NI, J.; CHENG, Y.; WANG, Q.; NG, C. W. W.; GARG, A. Effects of vegetation on soil temperature and water content: Field monitoring and numerical modelling. **Journal of Hydrology**, v. 571, 494-502, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.009>.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- POORTER, L.; ASNDER, M. T.; THOMPSON, J.; ARETS, E. J. M. M.; ALARCON, A.; ALVAREZ-SANCHEZ, H. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, p. 1314-1328, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12364>.
- ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, D.; BATISTA, A.; FREITAS, M. L. M.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ZAKIA, M. J. B.; CALMON, M. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. São Paulo: WRI Brasil, 2020. 44 p. (WRI. Working paper, julho 2020). Disponível em: https://wribrasil.org.br/sites/default/files/af_wri_workingpaper_researchgapsinsilviculture_portugues_web.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.
- RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; CHAVES, A. G. de M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E. de. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal Climatology**, v. 22, n. 13, p. 1663-1686, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.815>.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-7, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>.
- SOUSA, V. G. de; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima)**: botânica, ecologia e silvicultura. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 426). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154191/1/DOCUMENTOS-426-Ainfo.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- TERRA, T. D. R. Avaliação físico-química do carvão de cachamorra (*Sclerobium paniculatum* Vogel) e pau-terra de folha larga (*Qualea grandiflora* Mart.). **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 7, n. 2, p.120-133, 2017. Disponível em: <http://fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/download/250/152>. Acesso em: 19 out. 2022.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balances. **Climatology**, v. 8, n. 1, p.104, 1955.
- TOURNE, D. C. M.; MARTORANO, L. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; DIAS, C. T. S.; LISBOA, L. S.; SARTORIO, S. D.; VETTORAZZI, C. A. Potential topoclimatic zones as support for forest plantation in the Amazon: Advances and challenges to growing paricá (*Schizobium amazonicum*). **Environmental Development**, v. 18, p. 26-35, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.11.002>.
- VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; MORAES, J. M.; BALLESTER, M. V.; KRUSCHE, A. V. Surface air temperature variations in the amazon region and its borders during this century. **Journal of Climate**, v. 11, n. 5, p. 1105-1110, 1998.

Bloco 2

Desafios no desenvolvimento de protocolos silviculturais para *Tachigali vulgaris* e modelos produtivos integrados com espécies nativas

Produção e tecnologia de sementes de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*)

Noemi Vianna Martins Leão
Sérgio Heitor Sousa Felipe
Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu
Alexandre Mehl Lunz
Ruth Linda Benchimol

Introdução

O Brasil se destaca no cenário nacional e internacional por possuir várias espécies arbóreas nativas potenciais de uso nos diferentes setores da indústria madeireira, como a moveleira, celulose, laminados, produção de lenha, carvão, entre outros (Martins et al., 2020; Mendes et al., 2020). Em parte, a presença de elevada biodiversidade das florestas pode ser justificada pelo grande número de espécies arbóreas que habitam os diferentes biomas brasileiros. Neste cenário, destaca-se a espécie *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima (Fabaceae), uma árvore endêmica do Brasil (Huamantupa-Chuquimaco et al., 2022).

T. vulgaris apresenta ampla distribuição geográfica, com ocorrência reportada na região Norte (Amazonas, Pará e Tocantins), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão e Piauí), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (Minas Gerais e São Paulo). Adicionalmente, os indivíduos podem ser encontrados nos Biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado, em múltiplos tipos de vegetação como: Cerrado (*lato sensu*), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Estacional Decidua, Floresta Estacional Semidecidual e Savana Amazônica (Huamantupa-Chuquimaco et al., 2022). A distribuição desta espécie é aparentemente facilitada pela ação do homem, por meio da prática da queima controlada da vegetação na agricultura e criação de gado, capazes de formar grupamentos moderadamente densos na Amazônia (Carvalho, 2005).

A espécie é considerada de rápido crescimento, elevada produção e facilidade de desrama natural e deposição de folhas no solo, possibilitando grande e rápida formação de “*litter*”, o que, por sua vez, aumenta seu potencial para uso na recuperação de áreas degradadas em paralelo com o seu alto potencial energético (Oliveira Júnior, 1997; Brienza Júnior et al., 2008). Adicionalmente, *T. vulgaris* demonstrou alto potencial para suceder espécies do gênero *Eucalyptus* destinadas à produção de lenha e carvão vegetal produzidas em florestas energéticas na Amazônia (Farias et al., 2016).

Embora tenha sido dada ênfase aos estudos técnicos-científicos dessa espécie nos últimos anos, a consolidação destas informações e o direcionamento para novas pesquisas é primordial para estimular e subsidiar a introdução da espécie em plantios comerciais, mitigando em paralelo a pressão sobre as florestas naturais (Narducci et al., 2021). Inclusive, há a necessidade de sementes florestais com melhor padrão de qualidade e que possam produzir mudas que atendam às diferentes demandas silviculturais e cumpram ao disposto na Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003 – popularmente conhecida como Lei de Sementes e Mudas (Brasil, 2003).

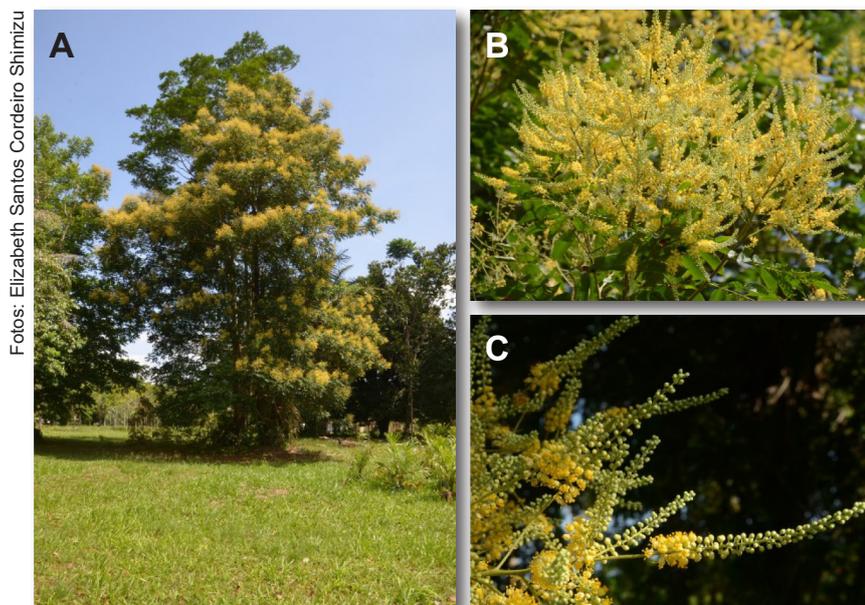
Os aspectos tecnológicos e noções sobre a produção, manejo e tecnologia das sementes envolvem múltiplas técnicas e protocolos que buscam alcançar o melhor padrão de qualidade possível para

diferentes lotes, fornecendo informações que possam ser aplicadas no comércio de sementes e mudas (Capucho et al., 2021). Além disso, é necessário que essas informações tecnológicas cheguem aos produtores, propiciando a consolidação destes mercados e assegurando produtos com máximo padrão de qualidade, para o maior número de espécies arbóreas nativas possíveis, uma vez que estes dados, até o momento e na maioria das vezes, são insuficientes ou fragmentados (Leão et al., 2015a).

O presente trabalho discute os aspectos gerais da biologia e morfologia de frutos e sementes, a estrutura horizontal de indivíduos em florestas naturais, a colheita de frutos e sementes, o armazenamento das sementes e os aspectos físicos e fisiológicos de *T. vulgaris*. Apresenta, ainda, revisão de literatura e alguns resultados de pesquisas desenvolvidas pelos autores, com a finalidade de buscar o melhor entendimento e a indicação das principais lacunas que possam direcionar novos estudos possibilitando a consolidação tecnológica e potencial uso da espécie em estratégias produtivas florestais.

Biologia e morfologia de frutos e sementes

T. vulgaris é uma espécie arbórea reconhecida pelas flores amarelo-claras, aromáticas, pentâmeras, sistema sexual hermafrodita, pediceladas (medindo aproximadamente 7 mm de comprimento e 5 mm de largura quando totalmente abertas), pétalas lineares glabras, ligeiramente zigomorfas e dispostas em inflorescências do tipo panículas terminais amplas (Venturieri, 2000; Sousa et al., 2016; Huamantupa-Chuquimaco et al., 2022) (Figura 1).



Fotos: Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu

Figura 1. Floração de *Tachigali vulgaris* no período de outubro de 2018: árvore em floração (A), inflorescências do tipo panículas terminais amplas (B) e detalhes da panícula (C).

A síndrome de polinização é preferencialmente por melitofilia (*Apis mellifera*, *Trigona pallens*, *Melipona melanoventar*, *Scaptotrigona nigrohirta* e *Exomalopsis* sp.), mas também pode ocorrer por meio de moscas (*Stratiomyidae* spp. e *Syrthidae* spp.) e vespas. Com base nestas informações,

é possível inferir que o fluxo de pólen (alcance) desencadeado pelos principais polinizadores pode ser de médio (500 m) a longo (até 10 km), o que é fundamental na transferência de grãos de pólen entre indivíduos distribuídos em populações naturais (Venturieri et al., 1999; Venturieri, 2000).

Em condições naturais, a espécie apresenta ciclo anual de floração, sendo a frutificação em média 5,11% do total de flores produzidas. Esse baixo valor pode ser explicado por abortos provenientes das autopolinizações, uma vez que a espécie demonstra ser adaptada à polinização cruzada (xenogamia), com a necessidade primordial de polinizadores para a produção de suas sementes (Venturieri, 2000).

O número médio de grãos de pólen observado em cada flor evidenciou uma relação pólen: óvulo igual a 6.000:1, ratificando ser obrigatoriamente dependente da xenogamia (Venturieri et al., 1999; Venturieri, 2000). Além disso, o tempo de floração demonstra ser prolongado, na qual uma única árvore possui inflorescências em diferentes estádios de desenvolvimento, proporcionando no mesmo indivíduo constante formação de flores durante dois a três meses sucessivos (Venturieri et al., 1999).

Em relação ao fruto, é caracterizado como criptosâmara, pois o pericarpo apresenta duas porções distintas, sendo a primeira externa (ou epicarpo), capaz de romper-se irregularmente, separando-se em duas valvas distintas no fruto maduro, enquanto a segunda é mais interna (ou endocarpo), constituindo uma expansão papirácea, indeiscente e achatada, de superfície castanho-escuro, opaca ou com pouco brilho, glabra, quase lisa, apresentando poucas nervuras e rugosidades (Oliveira; Pereira, 1984; Venturieri et al., 1999) (Figura 2A e 2B). Na formação de sementes, o fruto pode apresentar uma a três sementes, sendo mais frequente observar somente uma situada na parte mediana (Venturieri et al., 1999) (Figura 2C).

O endocarpo também apresenta papel na dispersão das sementes, sendo que estas projeções formadas auxiliam diretamente no alcance dos voos das sementes pelo vento, o que permite classificá-las como aladas do tipo autogiro rolante, capazes de contornar em dois eixos paralelamente ao redor de sua semente (Augspurger, 1986; Leão, 1990; Leão et al., 2015b) (Figura 2D). Ressalta-se que popularmente os produtores denominam os frutos com endocarpo de sementes com alas e na ausência desta estrutura de sementes sem alas (Figura 2E).

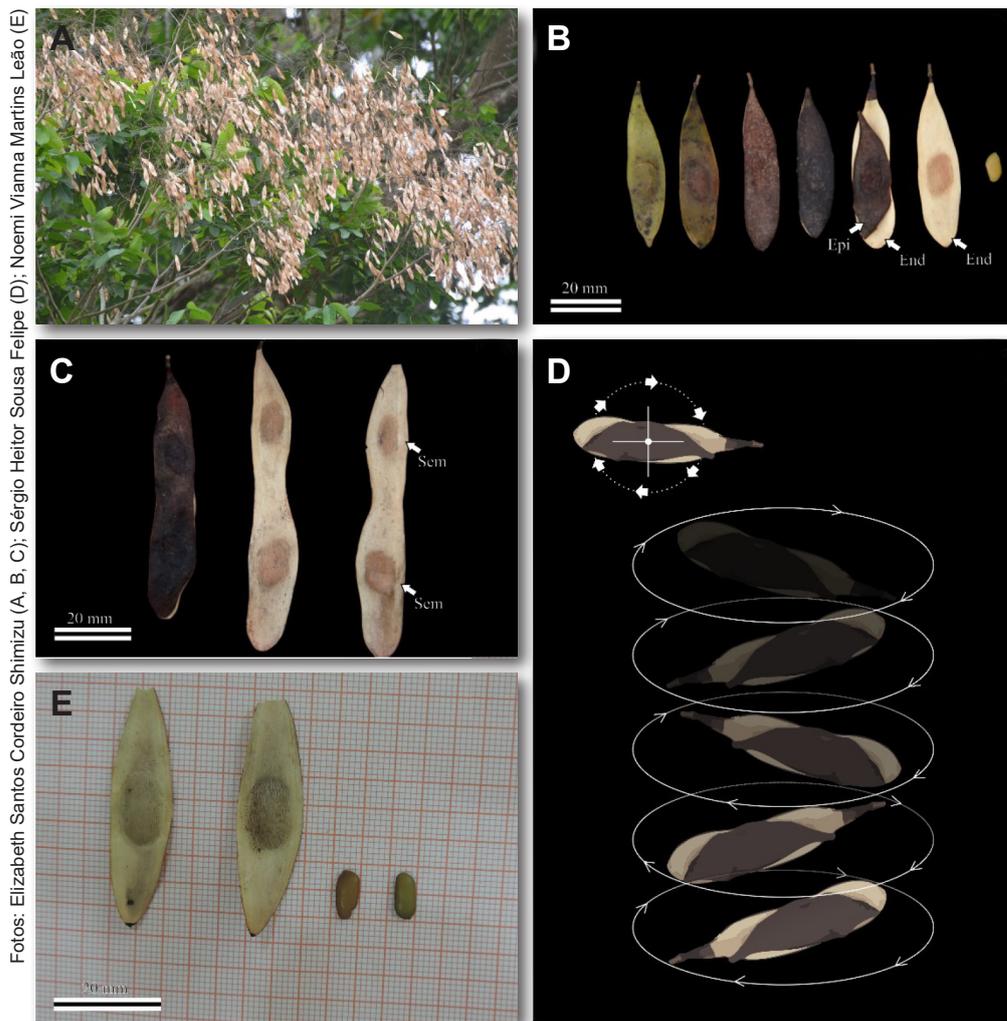


Figura 2. Frutos e sementes de *Tachigali vulgaris*: frutos maduros (A), frutos com epicarpo (Epi) e endocarpo (End) (B), fruto com mais de uma semente (sem) (C), ilustração do autogiro rolante das sementes dispersas (D) e semente com ala ou fruto com endocarpo (esquerda) e sem ala ou semente sem endocarpo (direita) (E).

Estrutura populacional em florestas naturais

O conhecimento da composição florística e estrutural das diferentes tipologias florestais pode fornecer informações que vão desde os aspectos ecológicos aos silviculturais, contribuindo para a seleção de árvores matrizes necessárias na colheita de frutos e sementes (Leão et al., 2015a). As árvores de *T. vulgaris* podem ser caracterizadas como de ciclo de vida longo, sendo possível observar indivíduos adultos com altura total variando de 20-30m e diâmetro à altura do peito (DAP) de 70-100 cm (Carpanezi et al., 1983; Dias et al., 1995).

Em populações naturais no município de Santarém, PA, ao serem analisados indivíduos de *T. vulgaris* em floresta manejada (FM) e floresta não manejada (FNM), com diversidade florística igual a 4,41 e 4,47, respectivamente, foi evidenciado padrão de distribuição aleatório para ambas as populações (Vieira et al., 2014). Adicionalmente, as estimativas dos parâmetros fitossociológicos indicaram densidade absoluta igual a 5,3 m² ha⁻¹ e 4,8 m² ha⁻¹, frequência absoluta de 100% e 92%, dominância absoluta correspondente a 0,729 m² ha⁻¹ e 0,540 m² ha⁻¹ e valor de importância igual a 2,69 e 1,88 para os indivíduos provenientes da FM e FNM, respectivamente (Vieira et al., 2014). Por outro lado, ressalta-se que o padrão de distribuição de indivíduos desta espécie propende à

formação de grupamentos moderadamente densos devido a sua característica heliófila, sendo encontrada no início da sucessão secundária, em áreas abertas (Carpanezi et al., 1983).

Ao considerar um inventário florístico em 100 ha da área de coleta de sementes (ACS) da Terra Indígena Parakanã, Novo Repartimento, PA, foi possível observar a ocorrência de 72 indivíduos de *Tachigali* spp. que permitem várias interpretações de acordo com a função K bivariada (L estimado) quanto ao padrão de distribuição (Figura 3) (Leão et al., 2005).

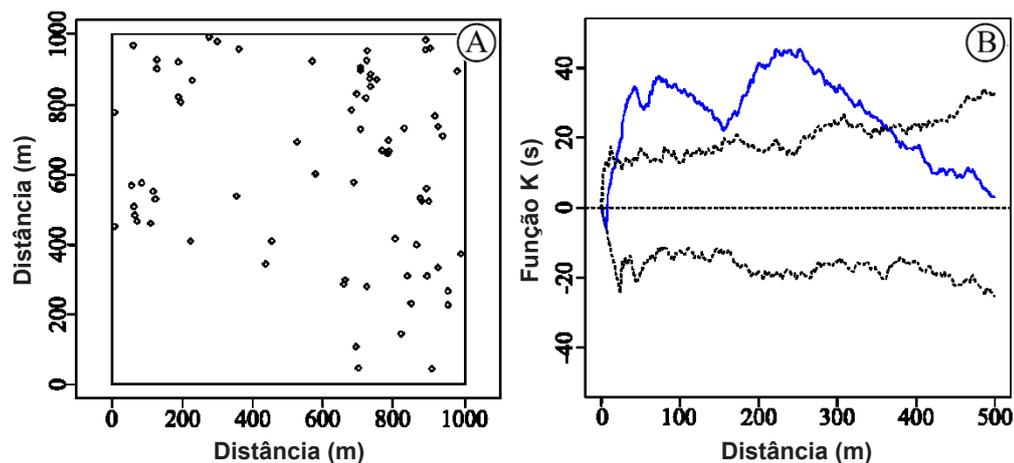


Figura 3. Padrão de pontos de indivíduos de *Tachigali* spp. (A) e Função K de Ripley (B) provenientes da Área de Coleta de Sementes

Até 25 m, o valor de L estimado (linha azul) está dentro da linha tracejada, indicando independência espacial (aleatoriedade); enquanto entre 25 m e 360 m, o valor de L estimado (linha azul) está acima da linha tracejada, indicando associação espacial (agrupamento) e, por fim, a partir de 360 m, o valor de L estimado (linha azul) está dentro da linha tracejada, indicando independência espacial (aleatoriedade). Neste sentido, embora a espécie apresente padrão agregado, sua distribuição em populações naturais também pode ocorrer de forma aleatória ao serem consideradas as dimensões de amostragens.

O padrão variável de distribuição espacial de *T. vulgaris*, além de possibilitar melhor entendimento do arranjo espacial dos seus indivíduos na floresta e sua dinâmica ecológica, também indica a necessidade de maiores cuidados na seleção de árvores matrizes ocorrentes em grupamentos, a fim de evitar a seleção de indivíduos com elevado grau de parentesco.

Colheita de frutos e sementes

A fenologia reprodutiva de *T. vulgaris* pode apresentar variações em função de condições edafoclimáticas, ocorrendo as primeiras fases reprodutivas a partir dos cinco anos de idade, em florestas plantadas (Carvalho, 2005). Na Amazônia, os estudos não são conclusivos sobre a fenologia da espécie, mas têm-se registros dos frutos maduros e a disseminação de sementes de março a dezembro. Em outras regiões, pode ser observada a presença de flores nos meses de novembro a fevereiro no estado de São Paulo, dezembro a abril no Maranhão e Piauí, enquanto os frutos podem ocorrer de setembro a outubro no Distrito Federal e de abril a maio no Piauí (Carvalho, 2005).

Estudos de fenologia quantitativa, até o momento, não foram reportados em literatura científica para *T. vulgaris*, havendo necessidade acelerada de obtenção destes dados para que sejam estimados o quantitativo de frutos e sementes produzidas em cada árvore. Além disso, estas análises devem progredir para estudos em populações naturais em comparação aos pomares de sementes que constituem plantações planejadas de árvores matrizes superiores, dispostas em delineamento e sob manejo adequado por parte do produtor.

Devido à ausência de pesquisas sobre maturação fisiológica dos frutos e sementes, a mudança de coloração de verde para marrom dos frutos e o início da dispersão podem ser indicativos que as sementes alcançaram o ponto de maturação fisiológica necessário para a máxima germinação. Neste sentido, avançar no conhecimento sobre o momento exato do ponto de maturação permitirá planejar adequadamente o ponto ótimo de colheita e reduzir potenciais ações de pragas nocivas que acometem frutos e sementes no campo, como os insetos e microrganismos, especialmente, fungos.

No planejamento da colheita, é recomendável que sejam selecionadas árvores matrizes equidistantes mais de 100 m, reduzindo a possibilidade de parentesco entre elas. Em paralelo, a colheita pode ser realizada diretamente nas árvores, por meio do método de espora com cinto de segurança e auxílio de podão. Contudo, em alguns indivíduos com altura da copa mais baixa (≤ 15 m) não há necessidade da prática de escalada na árvore, sendo possível alcançar os frutos facilmente com podões de até 16 m. Ao final, os frutos devem ser acondicionados em sacos de anagem para transporte até a Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) (Leão et al., 2014).

Após a colheita e transporte, os frutos não devem ser mantidos em recipientes fechados na UBS, pois isso propicia o surgimento de fungos que podem reduzir diretamente a qualidade fisiológica das sementes (Leão et al., 2015c). O processo de extração das sementes do endocarpo pode ser realizado manualmente, com auxílio de tesoura, sendo este método amplamente usado por não causar danos ao tegumento da semente (Leão et al., 2014). Ao final, na formação do lote é imprescindível que sejam retiradas as sementes com aspectos de danos ocasionados por insetos e fitopatógenos (Carvalho et al., 2018).

Armazenamento das sementes

A conservação de sementes florestais é necessária para que seja mantida a máxima qualidade fisiológica, física, genética e sanitária para uso no futuro, por meio do armazenamento em condições controladas e específicas, de acordo com as características intrínsecas dos diversos tipos de sementes (Medeiros, 2001). Na literatura não foram encontradas informações densas sobre as condições ideais para a conservação das sementes da espécie, por longos períodos. Por outro lado, ao se considerar as características dessas sementes como o baixo grau de umidade, dormência tegumentar e tamanho reduzido, é possível inferir que tendem fortemente ao grupo das ortodoxas, apresentando potencial para armazenamento por longos anos, sob condições controladas (Carvalho, 2005).

A longevidade das sementes ortodoxas é, dependendo da espécie, aumentada progressivamente por longos anos, com a redução de seu teor de água (entre 5-7%, base úmida), em condições de armazenamento sob baixas temperaturas ($5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e embalagens impermeáveis como envelopes de alumínio, latas, vidros e polietileno (Medeiros, 2003; Medeiros; Eira, 2006).

No geral, as sementes de *T. vulgaris* são armazenadas por pesquisadores, técnicos e produtores de forma empírica, em câmaras frias de armazenamento (p.ex., temperatura: 0-5 °C e umidade: 80-90%), mas é necessário que sejam realizadas pesquisas para determinar o grau crítico de umidade para a espécie, método ideal de secagem e, principalmente, que sejam desenvolvidos estudos de armazenamento sob diferentes condições controladas, concomitantemente com diferentes tipos de recipientes. Além disso, faz-se necessário avançar quanto ao uso de estratégias biotecnológicas como a criopreservação de embriões da espécie.

Pureza de sementes

A pureza física dos mais variados lotes de sementes, independente da espécie vegetal, compreende as características que refletem a composição física ou mecânica, sendo indicador do grau de contaminação, por meio da identificação das sementes de plantas indesejáveis ou daninhas, assim como de possíveis materiais inertes (Brüning et al., 2011).

Em relação à porcentagem de pureza de lotes de sementes de *T. vulgaris* após a extração e beneficiamento, as amostras devem apresentar elevada pureza (Leão et al., 2014) (Tabela 1). Ressalta-se que as espécies florestais apresentam elevado grau de pureza, exceto para espécies que possuem sementes muito pequenas (p.ex., número de sementes por quilograma $\geq 1.000.000$ unidades), diante da dificuldade de extração e beneficiamento ou para as sementes que apresentam alas frágeis que vão sendo liberadas no lote durante o manuseio (p.ex., *Cedrela fissilis*) (Brüning et al., 2011). Os cuidados nas etapas de extração e beneficiamento são fundamentais para obtenção de lotes puros de sementes, por meio da separação de outros tipos de sementes e material inerte que podem estar associados no momento da colheita (Nogueira; Medeiros, 2007).

Tabela 1. Porcentagem de pureza para o lote de sementes de seis árvores matrizes de *Tachigali vulgaris* colhidas em Santarém, PA.

Lote	1	2	3	6	10	13
Pureza (%)	100	100	100	100	100	100

A amostra de trabalho para a análise de pureza de *T. vulgaris* pode ser definida com base no número médio de sementes por quilograma, o qual deve apresentar em média 2.500 sementes. Isso como forma de garantir boa amostragem ao se considerar que a espécie apresenta número de sementes por quilograma entre 15.789-41.000 unidades (Carvalho et al., 2018).

Grau de umidade

A análise do grau de umidade é necessária em testes oficiais para determinação da qualidade de sementes devido ao teor de água nas mesmas influenciar a massa total, contribuindo para um maior ou menor número de sementes por quilograma. Além disso, pode influenciar na qualidade fisiológica, ao se considerar que, nas espécies recalcitrantes com baixo teor de água pode ocorrer a deterioração com consequente perda da viabilidade (Leão et al., 2017).

T. vulgaris possui sementes que podem apresentar grau de umidade variando de 8,1-15,5% após a dispersão da árvore mãe (Leão et al., 2001; Moraes et al., 2013). Contudo, não é claro qual o nível de umidade que passa a ser crítico para a germinação das sementes, induzindo a processos de deterioração.

Destaca-se que a correlação entre umidade e germinação demonstra ser interessante aspecto a ser mensurado, como indicativo da qualidade do lote. Neste sentido, avaliar o grau de umidade durante diferentes estágios do desenvolvimento de frutos e sementes, até o momento de alcançar a máxima maturação fisiológica, deve ser realizado em paralelo com os níveis de germinação, para que novos conhecimentos sobre os potenciais efeitos da umidade sobre a viabilidade das sementes sejam elucidados.

Biometria das sementes

A biometria de sementes nativas pode fornecer informações para diferenciar espécies do mesmo gênero, mecanismos de dispersão e estabelecimento de plântulas, conservação das espécies, programas de melhoramento genético e indicador de maior vigor em lotes (Fenner, 1993; Alves et al., 2005; Gusmão et al., 2006; Alves et al., 2007; Gonçalves et al., 2013).

Resultados experimentais indicaram que as sementes de *T. vulgaris* podem apresentar comprimento igual a 8,42 mm, largura de 4,28 mm e espessura de 1,63 mm (Tabela 2). As dimensões das sementes podem variar de acordo com as características genéticas dos indivíduos arbóreos e sob influência de fatores edafoclimáticos. Neste sentido, é comum observar variações morfológicas e biométricas em sementes provenientes de árvores em populações naturais, mesmo que estejam no mesmo habitat (Leão et al., 2018a).

Tabela 2. Intervalo de variação, média, desvio padrão e coeficiente de variação da biometria de frutos e sementes de *Tachigali vulgaris* procedentes de Santarém, PA.

Dimensões (mm)	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Comprimento	6,34	8,42	10,24	0,84	9,99
Largura	2,88	4,28	5,37	0,59	13,75
Espessura	1,17	1,63	2,13	0,16	9,73

Número de sementes por quilograma

O número de sementes por quilograma pode ser aplicado no comércio de sementes, para o melhor planejamento por parte do produtor, sendo analisado concomitantemente com a porcentagem de germinação do lote, para que possam ser estimadas as quantidades requeridas na produção de mudas (Leão et al., 2017). Na semente com endocarpo, também denominada popularmente de semente alada ou semente com aparato de voo, é possível encontrar até 27.412 unidades por quilograma, enquanto nas sementes sem alas o valor é aproximadamente 40.486 unidades, ambas com grau de umidade de 15,50% (base úmida) (Leão et al., 2001).

Resultados experimentais mostram valores diversos para *T. vulgaris* que podem variar de 15.789-25.018 sementes em um quilograma e grau de umidade entre 8,10% e 12,07% (base úmida) (Moraes et al., 2013). Essas variações podem ser explicadas pelo fato que o tamanho e o teor de água contido nas sementes influenciam diretamente na determinação da massa de mil sementes, sendo ambos inversamente proporcionais ao número de sementes por quilograma (Leão et al., 2018).

Germinação e emergência de plântulas

Para que ocorra a germinação regular das sementes de *T. vulgaris*, faz-se necessário o tratamento pré-germinativo, por meio da quebra de dormência tegumentar, sendo a seleção do método ideal definido de acordo com o tamanho da amostra. Ao considerar a necessidade da quebra de dormência de lote superior a mil unidades de sementes, pode ser usada a água quente, enquanto para amostras inferiores pode ser aplicada a técnica do desponte. Estes dois métodos se destacam na silvicultura da espécie por serem de baixo custo, fácil aplicação e sem riscos elevados de uso pelo produtor. Contudo, outros métodos como a imersão em ácido sulfúrico (H_2SO_4) também podem ser aplicados (Carvalho; Figueiredo, 1991).

A quebra de dormência em água quente consiste na imersão em água com temperatura média de 80 °C durante três minutos, seguido da imersão por um minuto em água fria (temperatura ambiente 20 ± 2 °C), enquanto o desponte é realizado por meio de um corte de ± 2 mm na região oposta ao hilo, com o auxílio de tesoura (Leão et al., 2014) (Figura 4).

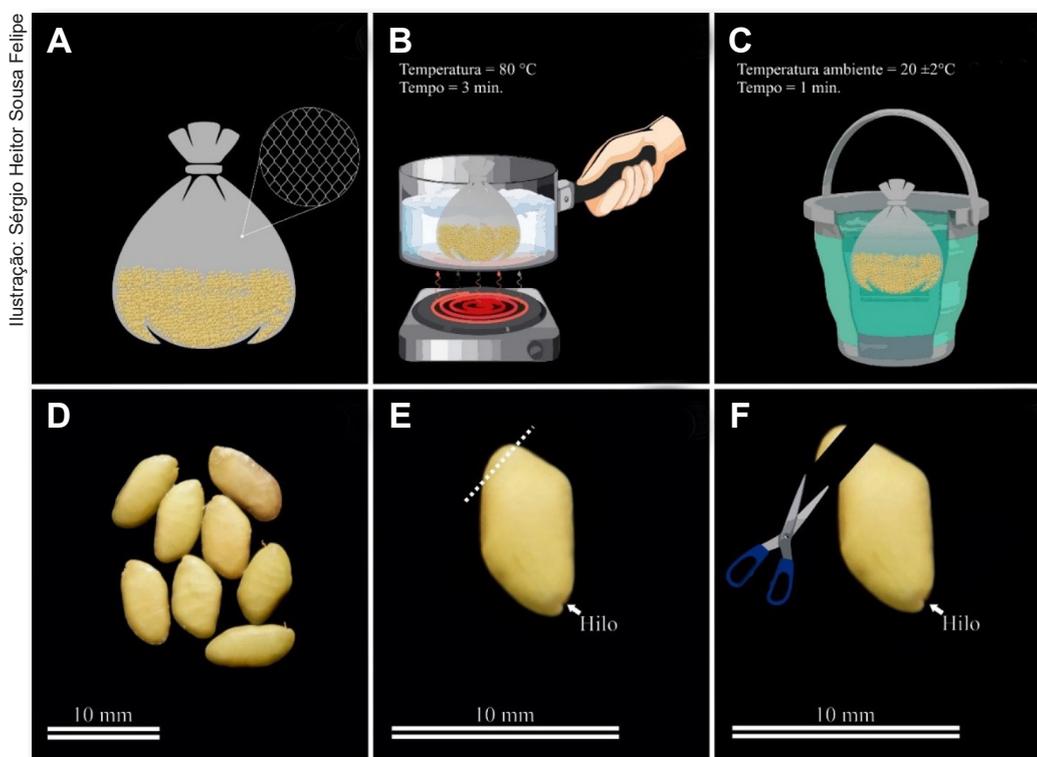


Figura 4. Quebra de dormência de sementes de *Tachigali vulgaris* pelo método de água quente: sementes acondicionadas em saco de malha plástica (A), imersão em água quente (B), imersão em água fria (C) e método do desponte: sementes intactas (D), região do hilo e posição do corte (E) e semente cortada (F).

A espécie *T. vulgaris* apresenta germinação do tipo fânero-epígeo-reserva, na qual consiste na exposição dos cotilédones após a germinação, alongamento do hipocótilo e função reserva dos cotilédones (Garwood, 2009) (Figura 5). No geral, pode-se considerar as questões de germinação e emergência sob dois fatores principais de interação: temperaturas e substratos para testes em laboratórios e porcentagem de germinação e emergência.



Fotos: Elizabeth Santos Cordeiro Shimizu

Figura 5. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Tachigali vulgaris* em tubetes: emergência (A), exposição dos cotilédones após a emergência (B) e plântula com os primeiros pares de folhas verdadeiras (C).

Temperaturas e substratos para testes em laboratórios

As variações observadas na germinação de espécies arbóreas estão diretamente relacionadas às características intrínsecas das espécies, sendo dependentes de condições favoráveis como: luz, temperatura, oxigênio e disponibilidade de água (Popinigis, 1985; Marcos Filho, 2016). Neste contexto, a interação entre temperatura e substrato deve ser considerada, pois são fatores que induzem respostas fisiológicas distintas para diversas espécies vegetais (Reis et al., 2020).

Em relação ao padrão de resposta de germinação de *T. vulgaris*, sob diversos tipos de substratos (p.ex., areia, areia + serragem, papel toalha e vermiculita) e temperaturas (25 °C e 30 °C), não foi observada interação significativa entre estes dois fatores ($P > 0,05$). Em paralelo, ao analisar os fatores isolados, a vermiculita demonstrou ser o substrato menos promissor para uso na germinação da espécie em condições de laboratório (Tabela 3). Possivelmente, essa resposta pode ser explicada pelo semeio sobre o substrato vermiculita.

Tabela 3. Médias, teste de Tukey de comparação de médias, valores de F e coeficiente de variação experimental obtidos para a percentagem de germinação de sementes de *Tachigali vulgaris*, procedentes de Santarém, PA, submetidas a diferentes temperaturas e substratos.

Temperaturas (°C)	Germinação ^{1/} (%)				Média
	Substratos				
	Areia	Areia + serragem	Papel toalha	Vermiculita	
25	92,0 Aa	92,0 Aa	99,0 Aa	90,0 Aa	93,3 a
30	97,0 Aa	94,0 Aa	95,0 Aa	89,0 Aa	93,8 a
Média	94,5 AB	93,0 AB	97,0 A	89,5 B	
Valor de F para temperatura (T)					0,51 ^{ns}
Valor de F para substrato (S)					3,37*
Valor de F para interação (T x S)					1,30 ^{ns}
CV (%)					9,95

^{1/} Médias transformadas para arc seno $(x/100)^{1/2}$; Valor de F calculado: T, S, T x S. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

Porcentagem de germinação e emergência

Os índices de germinação ou emergência evidenciam valores bastante variáveis entre diferentes lotes na literatura, sendo em alguns momentos próximos de 50%, enquanto em outros são superiores a 95%, mesmo para lotes formados por sementes colhidas em diferentes árvores matrizes, em igual período e sítio florestal (Figura 6).

A baixa percentagem de germinação e emergência em determinados lotes de sementes de *T. vulgaris* não apresenta causas claras, mas pode estar sendo ocasionada por fatores genéticos ou maturação fisiológica ideal de frutos e sementes sob influência das condições edafoclimáticas. Além disso, os danos decorrentes por predação de insetos não devem ser descartados. Deste modo, avaliar a produção de sementes em anos consecutivos de árvores matrizes que foram anteriormente diagnosticadas com baixa germinação pode propiciar novos conhecimentos de indicativo se este padrão de resposta se repete ao longo dos anos, por efeitos genéticos.

Em síntese, as sementes iniciaram o processo de emergência aos quatro dias e finalizaram o período de emergência até os 15 dias após sementeira, com exceção das matrizes 2, 9 e 11 que ocorreram após 20 dias. O TME variou de 5,63-10,33 dias entre as árvores matrizes, evidenciando que as sementes apresentaram rápida protusão radicular e emergência do solo após a quebra de dormência realizada mediante técnica do desponte.

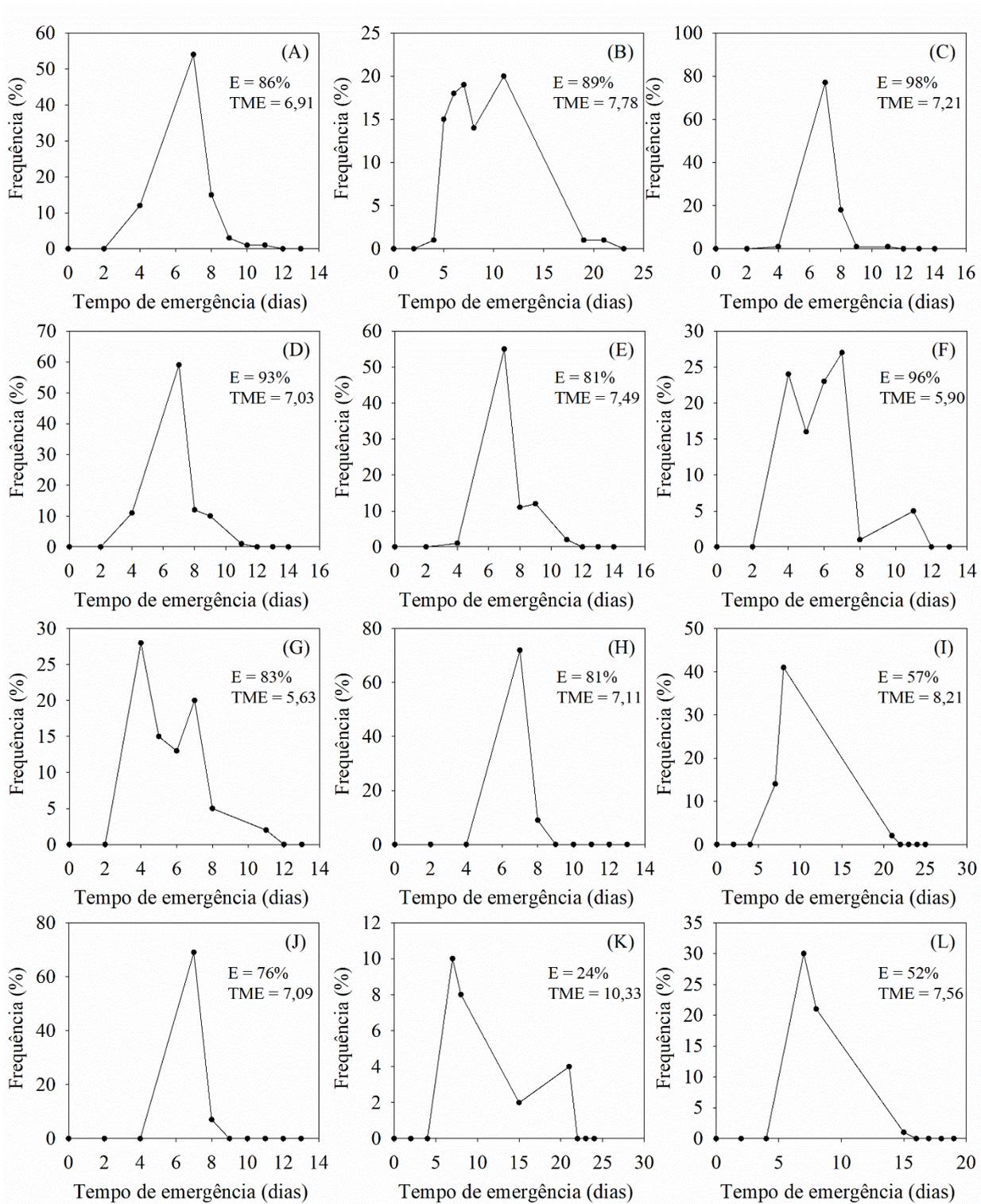


Figura 6. Porcentagem (E), tempo médio (TME) e distribuição da frequência relativa de emergência de sementes de *Tachigali vulgaris* de diferentes árvores matrizes procedentes de Santarém, PA, sob condições de ambiente natural (temperatura = $27,5 \pm 3$ °C e umidade = 76 ± 4 %) até o momento de estabilização do teste e Matriz 1 (A), Matriz 2 (B), Matriz 3 (C), Matriz 4 (D), Matriz 5 (E), Matriz 6 (F), Matriz 7 (G), Matriz 8 (H), Matriz 9 (I), Matriz 10 (J), Matriz 11 (K) e Matriz 12 (L).

Sanidade de sementes (fitopatógenos e insetos)

A maioria das espécies florestais nativas é propagada por via sexuada. Assim, é fundamental que se tenha material propagativo de boa qualidade sanitária. A condição fitossanitária das sementes é fator primordial para o sucesso de empreendimentos envolvendo espécies florestais, uma vez que a ocorrência de fungos fitopatogênicos pode impactar diretamente no poder germinativo e no período de armazenamento das sementes (Carneiro, 1987; Machado, 1988). Faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que visem obter melhor qualidade genética, fisiológica e sanitária de sementes, reduzindo potenciais perdas com mudas de menor padrão de qualidade ou mortes em viveiros e plantios no campo (Leão et al., 2018b).

Dentre os potenciais agentes causadores de doenças em sementes de *T. vulgaris*, há gêneros de fungos epifíticos como: *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Chaetomium* sp., *Curvularia* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp. e *Lasiodiplodia* sp. (Carneiro, 1990; Benchimol et al., 2001; Piedade et al., 2011). Na espécie *T. guianensis*, os gêneros *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. e *Lasiodiplodia* sp. causaram apodrecimento das sementes durante teste de germinação em laboratório, sendo o último capaz de infectar, colonizar e causar danos em plântulas, indicando elevado potencial de transmissão (Leão et al., 2018b).

Além dos microrganismos, os insetos são comumente reportados causando danos em sementes de espécies florestais, principalmente da família Fabaceae, como *T. vulgaris*. Há relatos de predação pré-dispersão média de 38% em sementes de *T. subvelutina*, com expressiva variância entre os lotes de sementes (6-91%) (Abreu et al., 2017; Alves-da-Silva; Benito, 2021). Embora não haja identificação, suspeita-se que se trata de larvas de besouros da subfamília Bruchinae (Coleoptera: Chrysomelidae), cujos danos normalmente ocorrem em grãos armazenados e sementes de árvores.

Esse tipo de predação é o mais comum, ocasionado por insetos cujas larvas se desenvolvem nas sementes onde formam câmaras e consomem parcial ou totalmente seu conteúdo. Como as sementes de *Tachigali* spp. são pequenas, a predação pode não ser observada na colheita, mas sim nos processos de secagem e armazenamento dos lotes. Se não forem detectadas, tais sementes podem gerar mudas subdesenvolvidas devido à inexistência de material de reserva para a plântula ou, mesmo, não germinarem, caso o embrião tenha sido consumido.

Adoções de medidas de manejo adequado como colheita de frutos e sementes diretamente na árvore; transporte breve dos frutos e sementes até o local de beneficiamento; evitar danos às sementes durante o transporte (colisões podem causar quebra no tegumento e em outras partes da semente); desinfestação superficial das sementes com hipoclorito de sódio (NaClO) quando necessário; e, realizar desinfestações periódicas das câmaras de armazenamento de sementes podem reduzir significativamente potenciais problemas fitossanitários (Stein et al., 1997; Benchimol et al., 2001).

Planejar corretamente a colheita das sementes de *T. vulgaris*, respeitando a sua fenologia, pode reduzir os danos na pré-dispersão, pois evita que elas permaneçam no campo mais tempo que o necessário para a sua maturação e fiquem sujeitas ao ataque de agentes bióticos. Da mesma forma, deve-se adotar medidas apropriadas no descarte de material comprovadamente atacado por fungos e insetos, bem como submetê-lo a altas temperaturas por certo tempo, dependendo do volume, de modo a interromper o ciclo de vida desses organismos.

Os relatos de agentes bióticos associados às sementes de *T. vulgaris* ainda são escassos, mais devido à ausência de grandes áreas plantadas que demandem o processamento de volumes

consideráveis de material propagativo do que propriamente a uma suposta resistência da planta. Pressupõe-se que a interação da espécie com pragas e doenças aumente proporcionalmente ao seu uso em sistemas de produção, assim como ocorre naturalmente com outras espécies florestais sob monocultivos. Logo, devem ser previstas ações de monitoramento e controle fitossanitário de agentes bióticos em todas as etapas da produção e tecnologia de sementes de *T. vulgaris*.

Considerações finais

Nas últimas décadas, *T. vulgaris* tem sido considerada potencial para a implantação de florestas energéticas, porém há grande carência de resultados consolidados para o seu uso em plantios comerciais. Neste sentido, aumentou o interesse no estabelecimento de cultivos com essa espécie em função da demanda por matéria-prima para fins energéticos, mundialmente.

Atualmente, são necessários estudos abordando a fenologia quantitativa em populações naturais e florestas plantadas com *T. vulgaris*, além do conhecimento das características fisiológicas visando entender à formação dos frutos e a maturação de sementes para obtenção de lotes com adequada qualidade fisiológica. O armazenamento de sementes demanda planejamento de toda a estrutura e conhecimento sobre a fisiologia das sementes e fatores que podem afetar a sua qualidade durante o processo. Dentre esses fatores, estão a temperatura e a umidade relativa adequadas, além do teor de água nas sementes, os tipos de embalagens para acondicionamento que são fundamentais para os estudos visando à melhor conservação.

Em laboratório, testes de germinação são frequentemente realizados para expressar a porcentagem de sementes viáveis do lote, características das plântulas e vigor. Contudo, há urgência no desenvolvimento de protocolos de análises de viabilidade para *T. vulgaris* como o teste de tetrazólio que permitirá resultados rápidos, capazes de diferenciar sementes viáveis das não viáveis. Além disso, o uso do teste de Raio X é uma alternativa de procedimento não destrutivo que permite avaliar pelas características morfológicas evidenciadas nas imagens os propágulos de forma rápida, sendo possível detectar sementes cheias, vazias, danificadas por insetos e danificadas mecanicamente.

Por fim, os estudos apresentados e os direcionamentos de pesquisas futuras indicadas no presente trabalho poderão contribuir para avançar na materialização de conhecimento técnico-científico sobre a produção e manejo adequado de sementes de *T. vulgaris*, para fins de aquisição de lotes com melhor padrão de qualidade, como suporte para a silvicultura tropical da espécie no Brasil.

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* L. G. Silva & H. C. Lima. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00071814, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.071814>.

ALVES, E. U.; BRUNO ALCÂNTARA, R. L.; ALVES, A. U.; CARDOSO, E. A.; GALINDO, E. A.; JÚNIOR, J. M. B. Germinação e biometria de frutos e sementes de *Bauhinia divaricata* L. (Leguminosae). **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 7, n. 3, p. 193-198, 2007.

ALVES, E. U.; BRUNO, R. L. A.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, A. U.; PAULA, R. C. Influência do tamanho e da procedência de sementes de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sobre a germinação e vigor. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 877-885, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000600006>.

ALVES-DA-SILVA, D.; BENITO, N. **Procedimentos para avaliar a predação, dormência, germinação e conservação de sementes de *Tachigali subvelutina* (Benth.) Oliveira-Filho**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2021. 24 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 370). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223077/1/Boletim-370final-05-05.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

AUGSPURGER, C. K. Morphology and dispersal potential wind-dispersed diaspores of neotropical trees. **American Journal of Botany**, v. 73, n. 3, p. 353-363, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1986.tb12048.x>.

BENCHIMOL, R. L.; LEÃO, N. V. M.; CARVALHO, J. E. U. de; CRUZ, E. D. Fungos detectados em sementes de espécies florestais da Amazônia. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. A. G. (ed.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001, p. 173-182. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211907/1/A-Silvicultura-na-Amazonia-Oriental.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

BRASIL. **Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003**. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas - SNSM, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 05 ago. 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.711.htm. Acesso em: 05 mar. 2022.

BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONCALVES, D. de A.; GALEÃO, R. R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. **Amazônia Ciência e Desenvolvimento**, v. 4, n. 7, p. 197-219, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30506/1/Recuperacao-de-Areas-.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

BRÜNING, F. D. O.; LÚCIO, A. D. C.; MUNIZ, M. F. B. Padrões para germinação, pureza, umidade e peso de mil sementes em análises de sementes de espécies florestais nativas do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 193-202, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050983221>.

CAPUCHO, H. L. V.; LIMA JÚNIOR, M. D. J. V.; MENDES, A. M. D. S.; LOPES, M. T. G.; PINHEIRO, A. S. P.; SILVA, L. N. D. Technological parameters of seeds applied to the selection of superior mother trees from *Ormosia discolor* Spruce ex Benth. **Revista Árvore**, v. 45, e4536, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-908820210000036>.

CARNEIRO, J. S. Teste de sanidade de sementes de essências florestais. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. (ed.). **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 363-393.

CARNEIRO, J. S. Qualidade sanitária de sementes de espécies florestais em Paraopeba, MG. **Fitopatologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 75-77, 1990.

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)**. Curitiba: EMBRAPA – URPFCs, 1983. 10 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

CARVALHO, J. E. U.; FIGUEIREDO, F. J. C. **Biometria e métodos para superação da dormência de sementes de taxi-branco, *Sclerolobium paniculatum* Vogel**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1991. 18 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 114). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42025/1/Boletim-Pesquisa-114-CPATU.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

CARVALHO, M. L. M.; CALVI, G. P.; FERRAZ, I. D. K. Análise de sementes. In: BARBEDO, C. J.; SANTOS JÚNIOR, N. A. S. (ed.). **Sementes do Brasil**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2018. p. 109-138.

CARVALHO, P. E. R. **Taxi-branco**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/288825/1/circ-tec111.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDARIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém. **Anais [...]**. Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical: USDA-Serviço Florestal; Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L.; PETTER, F. A. Survival, and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.

FENNER, M. **Seed ecology**. London: Chapman and Hall, 1993. 151 p.

GARWOOD, N. C. **Seedlings of Barro Colorado Island and the Neotropics**. Ithaca: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, 2009. 656 p.

GONÇALVES, L. G. V.; ANDRADE, F. R.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; SCHOSSLER, T. R.; LENZA, E.; MARIMON, B. S. Biometria de frutos e sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em vegetação natural na região leste de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 31-40, 2013. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16280>.

GUSMÃO, E.; VIEIRA, F. D. A.; FONSECA JÚNIOR, E. D. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss). **Revista Cerne**, v. 12, n. 1, p. 84-91, 2006.

HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; CARDOSO, D. B. O. S.; CARDOSO, L. J. T.; SANTANA, J. C. O.; SIMON, M. F.; COSTA, J. A. S.; LIMA, H. C. *Tachigali* in Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB100914>. Acesso em: 19 out. 2022.

LEÃO, N. V. M. **Disseminação de sementes e distribuição espacial de espécies arbóreas na Floresta Nacional do Tapajós, Santarém – Pará**. 1990. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LEÃO, N. V. M.; CAMPOS, M. V. A.; FELIPE, S. H. S.; CARDOSO, R. S.; SHIMIZU, E. S. C. Aspectos biofísicos de frutos e sementes e emergência de plântulas de santol. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 146-157, 2017. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2017A14.

LEÃO, N. V. M.; CARVALHO, J. E. U.; OHASHI, S. T. Tecnologia de sementes de espécies florestais nativas da Amazônia Brasileira. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. A. G. **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. p. 139-158. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211907/1/A-Silvicultura-na-Amazonia-Oriental.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

LEÃO, N. V. M.; FELIPE, S. H. S.; SILVA, C. E.; MORAES, A. C. S.; SHIMIZU, E. S. C.; GALLO, R.; FREITAS, A. D. D.; KATO, O. R. Morphometric diversity between fruits and seeds of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King.) from Parakanã Indigenous Land, Pará State, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 435-443, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.03.pne879>.

LEÃO, N. V. M.; OHASHI, S. T.; FELIPE, S. H. S. Situação atual da pesquisa e produção de sementes de espécies florestais nativas na Amazônia Oriental. In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; SILVA, A. (ed.). **Sementes florestais tropicais: da ecologia à produção**. Paraná: ABRATES, 2015a. p. 381-395.

LEÃO, N. V. M.; OHASHI, S. T.; FREITAS, A. D. D.; NASCIMENTO, M. R. S. M.; SHIMIZU, E. S. C.; REIS, A. R. S.; GALVÃO FILHO, A. F.; SOUZA, D. **Colheita de sementes e produção de mudas de espécies florestais nativas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015c. 47 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 374). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1016657/1/DOC3742EdONLINE.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

LEÃO, N. V. M.; SHIMIZU, E. S. C.; BENCHIMOL, R. L. **Tecnologia de sementes de espécies florestais nativas do estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2015b. 1 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Folder). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1016666/1/FolderSementes.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

LEÃO, N. V. M.; SHIMIZU, E. S. C.; FELIPE, S. H. S.; BENCHIMOL, R. L.; NASCIMENTO, M. R. S. M. Morfometria, germinação e sanidade de sementes de tachi-peludo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 142-154, 2018b. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A60.

LEÃO, N. V. M.; SHIMIZU, E. S. C.; FELIPE, S. H. S.; KATO, O. R. **Conservação de germoplasma florestal em pequenas propriedades rurais em área de vegetação secundária do nordeste paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/ Cnpq, 2014. 71 p. (Relatório técnico-científico).

LEÃO, N. V. M.; SILVA, C. E.; VIEIRA, I. C. G.; OHASHI, S. T. **Implantação de área de coleta de sementes na Terra Indígena Parakanã, Novo Repartimento, Estado do Pará**. Belém: Eletronorte/ Engevix – Themag. 2005. 24 p. (Relatório técnico-científico).

MACHADO, J.C. **Patologia de sementes fundamentos e aplicações**. Brasília: MEC/Esal/Faepe, 1988. 106 p.

MARCOS-FILHO, J. **Seed physiology of cultivated plants**. Londrina: Abrates, 2016. 617 p.

MARTINS, T. G. V.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; TELLES, L. A. A.; LAGE, M. R.; MENDES, G. G. C.; PINTO, D. L.; CASTRO, N. L. M.; LORENZON, A. S.; SILVA, R. S.; GONZÁLES, D. G. E. Potential planting areas for native tree species in Minas Gerais state, Brazil, based on environmental variables and wood demand. **Ecological Modelling**, v. 432, p. 109211, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109211>.

MEDEIROS, A. C. S. **Armazenamento de sementes de espécies florestais nativas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 24 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 66). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17076/1/doc66.PDF>. Acesso em: 19 out. 2022.

MEDEIROS, A. C. S. **Armazenamento de sementes florestais**. In: SEMANA DO ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO, 1., 2003, Colombo. **Anais [...]**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. p. 1-3. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50918/1/Medeiros.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MEDEIROS, A. C. S.; EIRA, M. T. S. **Comportamento fisiológico, secagem e armazenamento de sementes florestais nativas**. Colombo: Embrapa Floresta, 2006. 13 p. (Embrapa Floresta. Circular técnica, 127). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/294209/1/circtec127.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MENDES, G. G. C.; SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; MARTINS, S. V.; SOUZA, G. A.; NUNES, A. C. P.; MARTINS, T. G. V. Flowering acceleration in native Brazilian tree species for genetic conservation and breeding. **Annals of Forest Research**, v. 63, n. 1, p. 39-52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2019.1751>.

MORAES, A. C. S.; LEÃO, N. V. M.; SHIMIZU, E. S. C.; NASCIMENTO, M. R. S. M. Aspectos morfológicos de sementes de *Sclerolobium paniculatum* Vogel de diferentes matrizes. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17.; SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1., 2013, Belém. **Anais [...]**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/970275/1/Resumo6.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; JÚNIOR, S. B. Banco de sementes do solo sob plantios de *Tachigali vulgaris* (L. G. Silva & H. C. Lima) em diferentes espaçamentos na região leste do Estado do Pará, Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 132, p. e3719, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.11>. Acesso em: 19 out. 2022.

NOGUEIRA, A. C.; MEDEIROS, A. C. S. **Extração e beneficiamento de sementes florestais nativas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 7 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 131). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42332/1/Circular131.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, V. M. **Crescimento e nutrição mineral de taxi-branco-de-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) micorrizadas e adubadas com diferentes fontes de fosfato natural**. 1997. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.

OLIVEIRA, E. C.; PEREIRA, T. S. Morfologia dos frutos alados em Leguminosae -Caesalpinoideae - Martiodendron Gleason, Peltophorum (Vogel) Walpers, Sclerolobium Vogel, Tachigalia Aublet e Schizolobium Vogel. **Rodriguésia**, v. 36, n. 60, p. 35-42, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-78601984366006>.

PIEIDADE, A. M.; BENCHIMOL, R. L.; LEÃO, N. V. M.; FELIPE, S. H. S. Diagnóstico fitossanitário em sementes de cedro e taxi branco. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 15., 2011, Belém. **Anais [...]**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/41145/1/Alessandro-PIBIC-avaliado.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Agiplan, 1985. 289 p.

REIS, L. P.; BORGES, E. E. L.; SOUZA, G. A.; BRITO, D. S. Relationships between substrate and the mobilization of reserve with temperature during seed germination of *Ormosia coarctata* Jack. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. e202042017, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42223509>.

SOUZA, V. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima)**: botânica, ecologia e silvicultura. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 426). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1062064/1/DOCUMENTOS426Ainfo.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

STEIN, R. L. B.; LEÃO, N. V. M.; CARVALHO, J. E. U. Health testes on native Amazon Forest tree seeds. In: PROCHÁZKOVÁ, Z.; SUTHERLAND, J. R. **Proceedings of the ISTA Tree Seed Pathology Meeting**. Opatowitz: ISTA, 1997. p.108-111.

VENTURIERI, G. C. **A ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel) e do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) leg**: Caesalpinioidea e a melitofilia nestas árvores amazônicas. 2000. 87 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; NEVES, C. B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel), Leguminosae. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais** [...]. Belém: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. p. 83-90. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57956/1/Doc123-p83-90.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

VIEIRA, D. D. S.; GAMA, J. R. V.; RIBEIRO, R. B. D. S.; XIMENES, L. C.; CORRÊA, V. V.; ALVES, A. F. Comparação estrutural entre floresta manejada e não manejada na comunidade Santo Antônio, estado do Pará. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 1067-1074, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509816619>.

***Tachigali vulgaris* na Amazônia: retrospectiva de pesquisas com plantios experimentais**

Silvio Brienza Júnior
Jorge Alberto Gazel Yared
Vanessa Gomes de Sousa
Tainah Silva Narducci
Rafael de Paiva Salomão
Lucieta Guerreiro Martorano

Introdução

A produção de biomassa florestal para fins energéticos no Brasil vem, em grande parte, de plantações de espécies com silvicultura conhecida, principalmente de eucalipto, além do aproveitamento de resíduos de madeira processada em serrarias e de outras indústrias. Alternativas que incluam espécies nativas que apresentem características tecnológicas adequadas para essa finalidade e que possuam produtividade elevada de madeira em plantações comerciais, representam um grande desafio.

Entre as espécies nativas pesquisadas especialmente pelas Unidades da Embrapa na Amazônia, a espécie *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) se destacou como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de plantios potencialmente econômicos. Cabe ressaltar que essa espécie foi descrita originalmente por Vogel, em 1837, como *Sclerolobium paniculatum* Vogel (Linnaea 11: 397). Entretanto, em 2007, a espécie foi reclassificada como *Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima (Rodriguésia 58 (2): 400), uma vez que foi detectada a existência de *Tachigali paniculata* Aubl. Ou seja, como o epíteto específico era de *T. paniculata* houve a necessidade de se criar um nome científico, passando-se, então, de *S. paniculatum* para *T. vulgaris*. Vale ressaltar, ainda, a existência de outros cinco táxons infraespecíficos (subespécies): *S. paniculatum* var. *paniculatum*, *S. paniculatum* var. *subvelutinum* Benth., *S. paniculatum* var. *rubiginosum*, *S. paniculatum* var. *polyphyllum* Hassl. e *S. paniculatum* var. *peruvianum* Dwyer.

A cadeia do conhecimento da silvicultura de tachi-branco não é totalmente dominada, pois faltam estudos em diversos elos do sistema de produção. Entretanto, na literatura encontra-se grande parte das informações técnicas para o seu cultivo que vai desde a colheita de sementes em populações naturais, beneficiamento, armazenamento, quebra de dormência e germinação das sementes, produção de mudas, espaçamentos de plantio, nutrição, além de estudos de variabilidade genética para caracterização da madeira para fins energéticos (Sousa et al., 2016).

O objetivo do presente capítulo foi, de forma retrospectiva, apresentar a evolução da pesquisa em silvicultura de tachi-branco, na Amazônia brasileira.

Uma breve retrospectiva institucional da pesquisa em silvicultura, na Amazônia

As décadas de 1950 e 1960 foram marcadas pela criação de instituições que deram início às pesquisas florestais na Amazônia brasileira. Os primeiros plantios de espécies florestais ocorreram a partir de 1957, com a criação do extinto Centro de Silvicultura, da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (Spvea) em Curuá-Una, município de Santarém, PA. Em 1962, foi a vez do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa) realizar seus primeiros estudos com plantios de árvores nativas e, em 1965, a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac) iniciou suas atividades na Amazônia testando o plantio de árvores nativas em consórcio com cacau. Em 1967, a criação do extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) alavancou um grande programa nacional de pesquisas florestais, em cooperação com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food Agriculture Organization* - FAO), por meio do Convênio IBDF/FAO – Projeto BRA-45, conhecido como Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (Prodepef). Na Amazônia, o Prodepef deu início a uma série de experimentos, entre os anos 1975-1976, na Floresta Nacional do Tapajós, para testar o crescimento de espécies florestais nativas e desenvolver pesquisas de manejo da floresta natural. O enorme acervo da pesquisa do Prodepef foi absorvido pela Embrapa em 1978, que assumiu a condução dos experimentos implantados no Brasil, assim como promoveu a ampliação de novas pesquisas.

O primeiro registro de plantio experimental de tachi-branco vem da publicação de Carvalho-Filho e Marques (1979), na Revista Brasil Florestal, resultante de um ensaio de espécies realizado na Floresta Nacional do Tapajós. O referido trabalho analisou a sobrevivência e crescimento do tachi-branco e outras espécies, e apontou que, na fase inicial, essa espécie já demonstrava grande potencial silvicultural (5,5 m de altura aos 31 meses de idade). Desde então, dada à sua ampla faixa de ocorrência natural, vários projetos de pesquisas sobre o plantio de tachi-branco vêm sendo desenvolvidos na Amazônia (Tabela 1).

Tabela 1. Locais e tipos de pesquisas já realizadas com a espécie *Tachigali vulgaris* na Amazônia brasileira.

Locais	Descrição
Trombetas, PA	Áreas mineradas de bauxita da Mineração Rio do Norte (MRN): plantios de restauração nas décadas de 1980 e 1990.
Cerrado amapaense	Áreas mineradas de bauxita da Indústria e Comércio de Minérios (Icomi), atual Tocantins Mineração: plantios de restauração. Pesquisas da Embrapa Amapá: teste de progênies e ensaio de espaçamentos.
Dom Eliseu, PA Açailândia, MA	Pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental e Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra): ensaios de espaçamento e adubação.
Belterra, PA	Pesquisas da Embrapa Amazônia Oriental: seleção de espécies.
Manaus, AM	Pesquisas da Embrapa Amazônia Ocidental: Projeto Competição de Espécies Florestais.

A revisão bibliográfica sobre *T. vulgaris*, abrangendo várias áreas do conhecimento, elaborada por Sousa et al. (2016), deixa claro alguns aspectos que reforçam tecnicamente que essa espécie pode ser indicada para plantações comerciais, tais como apresentar rusticidade, ser pioneira e capaz de se desenvolver em solos de baixa fertilidade. Como se trata de espécie leguminosa da família Fabaceae, apresenta associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, o que facilita a fixação de

nitrogênio e a ciclagem de nutrientes. Embora não tenha facilidade de rebrotação, a espécie possui capacidade de se regenerar naturalmente a partir de sementes. Plantações de tachi-branco, em pequenas áreas, podem se expandir rapidamente por meio da regeneração natural, conforme observado em parcelas experimentais introduzidas na área de Cerrado amapaense. Em geral, o citado trabalho mostrou que a espécie possui características silviculturais importantes, tais como:

Distribuição geográfica: Ampla, abrangendo a Amazônia continental (Carpanezzi et al., 1983; Encarnación, 1983; Carvalho, 1994; Marimon; Lima, 2001; Lorenzi, 2002; Carvalho, 2005). Por ser uma espécie de alta plasticidade, o tachi-branco tem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em várias partes do País, como as regiões Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte, expandindo-se além da Amazônia brasileira para as Guianas, Suriname, Peru e Venezuela. Encontra-se naturalmente em áreas de cerradões em solos arenosos e quimicamente de baixa fertilidade. Esse fato talvez lhe confira a rusticidade e a capacidade de adaptação para plantios em áreas degradadas, quando cultivada para a produção de madeira. A população média de tachi-branco, analisada sob o nome científico de *Sclerobium paniculatum*, foi estimada em pouco mais de 157 milhões de árvores em toda a Amazônia Continental (nove países) (Steeg et al., 2013).

Autoecologia: *T. vulgaris* apresenta características ecológicas de espécie pioneira com grande potencial de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas (Dias et al., 1995), que vão de áreas com altitude de 0-200 m, mas com restrição à deficiência hídrica entre 150-250 mm (Martorano et al., 2010). Possui porte médio (30 m de altura e 100 cm de DAP na idade adulta) (Lima, 2004), podendo alcançar o dossel superior de florestas secundárias. Sua copa é arredondada e densa, com tronco geralmente tortuoso, com ramificações e dominância apical bem definida (Carvalho, 2005). Apresenta grande capacidade de adaptação às condições desfavoráveis de baixa fertilidade do solo (Carpanezzi et al., 1983; Coutinho, 2008). Seu crescimento rápido, elevada produção de serapilheira e capacidade de fixação de nitrogênio são características que potencializam seu uso para recuperar áreas degradadas (Dias et al., 1995) ou abandonadas pela agricultura migratória (Mochiutti et al., 1999), bem como para o enriquecimento de capoeiras (Brienza Júnior, 1999). É indicada também para compor sistemas agroflorestais (Souza et al., 2004).

Características da madeira: Diversos estudos têm mostrado a potencialidade da espécie para fins energéticos, considerando-se especialmente a densidade da madeira e o seu poder calorífico. Basta lembrar que um de seus nomes vulgares é denominado carvão-de-ferreiro, em função de sua utilização como fonte de energia no preparo de objetos de ferro ou aço. A característica da madeira para fins energéticos, conforme revisão de Sousa et al. (2016), é qualificada como moderadamente densa, com massa específica variando de 0,60-0,74 g cm⁻³ e o seu poder calorífico é cerca de 4.580 kcal/kg, com teor de carbono fixo que pode variar de 21-74,9% e o teor de cinza de 0,39-1,62%.

Biologia reprodutiva e fenologia: Os insetos são fundamentais para a reprodução da espécie. Suas flores são visitadas principalmente por apoídeas, tais como: *Apis mellifera* Linnaeus, *Trigona pallens* Fabricius, *Melipona melanoventer* Schwarz, *Scaptotrigona nigrohirta* Moure (Apidae), *Augocloropsis* sp. (Anthophoridae) e *Syrphidae* spp (Venturieri et al., 1999). Essa observação mostra que o tachi-branco é uma espécie que pode funcionar como pasto apícola. Os períodos de maturação dos frutos e de disseminação das sementes do tachi-branco são muito variados e podem ocorrer de janeiro a junho. Por outro lado, as sementes apresentam dormência mecânica que pode ser quebrada com água quente, escarificação mecânica ou química (Carpanezzi et al., 1983; Carvalho; Figueiredo, 1991).

Produção de mudas: O tempo de formação de mudas de tachi-branco para plantio no campo pode variar de 120-180 dias, dependendo das condições climáticas, características do solo e presença de bactérias fixadoras de N. Não foram observadas respostas às aplicações de Ca e S em mudas produzidas em casa-de-vegetação, enquanto que os níveis críticos encontrados no solo foram 26,1 ppm P; 27,4 ppm K, 5,10 ppm S e 74 ppm Ca, e, nas folhas, os níveis críticos de N, P e K foram 2,2%, 0,12% e 0,7% respectivamente (Dias et al., 1991, 1992).

Plantio: Há mais de 30 anos existem evidências que o comportamento silvicultural da espécie em plantações experimentais é promissor (Carpanezzi et al., 1983; Dias et al., 1992, 1995; Sousa et al., 2016), com incrementos médios anuais em altura de 2,2 m ano⁻¹, diâmetro à altura do peito (DAP) de 2,9 cm ano⁻¹, com boa sobrevivência e vigor (Castro et al., 1990), podendo ser indicada para a recuperação de áreas degradadas, uma vez que se adapta muito bem a solos álicos e de baixa fertilidade (Dias et al., 1995). Ressalta-se, ainda, a sua capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, além de seu alto poder na formação de liteira, em decorrência da perda de folhas (Castro et al., 1998). No estado do Pará, recomenda-se que o plantio não seja feito em áreas com deficiência hídrica entre 150-250 mm e em altitudes superiores a 200 m (Martorano et al., 2011, 2018). O espaçamento de plantio pode variar de acordo com o objetivo, ou seja, 3 m x 2 m (produção de madeira com desbastes intermediários em função do crescimento local) a 3 m x 1 m para produção de biomassa (Castro et al., 1998; Souza et al., 2004).

Adubação: Em geral, as espécies de maturação de curto prazo demandam dosagens iniciais de nutrientes em maior proporção quando comparadas com espécies de crescimento mais lento. Para o tachi-branco é importante fazer uma adubação para ajudar o crescimento inicial, sendo uma adubação na cova, no momento do plantio e em cobertura após 50-60 dias de plantio; além de outra no segundo ano conforme sugerido por Brienza Júnior et al. (2008):

- Adubação na cova:
 - Esterco curtido: 1-2 L por planta.
 - Cálcio (calcário): 10 g por planta.
 - Fósforo (P₂O₅): 40 g por planta.
- Adubação de cobertura no primeiro ano:
 - 50 g por planta da formulação NPK 16:16:16.
- Adubação por cobertura no segundo ano:
 - 100 g por planta da formulação NPK 16:16:16 no início do período chuvoso.

Proteção florestal: O controle de plantas daninhas deve ser realizado por meio de três roçagens manuais no primeiro e segundo anos. O controle de formigas também é um procedimento importante em termos de proteção florestal, e deve ser realizado por meio de aplicação de formicida no primeiro e segundo anos. Lesões nas bordas de folhas de tachi-branco causadas pelo desfolhador *Compsus azureipes* Hustache (Coleoptera: Curculionidae: Entiminae) foram registradas em plantio de 2 meses de idade, no município de Almeirim, PA (Lunz et al., 2011).

Crescimento: Duas curvas de crescimento foram estabelecidas, ou seja, uma para altura ($Y = -0,1009x^2 + 3,9118x + 0,4467$; $R^2 = 0,9744$) e outra para diâmetro ($Y = -0,1339x^2 + 3,2678x + 1,9182$; $R^2 = 0,9665$), sendo ambas para árvores com idade variando de 1-15 anos, plantadas em diferentes espaçamentos (3 m x 3 m e 4 m x 4 m) no município de Belterra, PA (Matos, 1993).

Madeira: Pode ser utilizada para diferentes propósitos: lenha e carvão vegetal (Tomaselli et al., 1983; Vale et al., 2002); álcool e coque (Paula, 1980); madeira serrada e roliça (especialmente na confecção de mourões, esteios e embalagens) (Sousa et al., 2016) e arborização de rodovias e parques (Carvalho, 2005).

Performance silvicultural de *Tachigali vulgaris* em diferentes plantios experimentais

Resultados de pesquisas em várias regiões da Amazônia indicaram que o tachi-branco apresenta bons indicadores dendrométricos de crescimento. Ainda que os plantios experimentais não tenham sido feitos a partir de sementes com seleção genética de matrizes, trabalhos encontrados na literatura revelam que taxas de crescimento e produtividade, em diferentes idades, podem chegar a resultados promissores mostrando a potencialidade da espécie para a produção volumétrica e, conseqüentemente, para a produção de biomassa (Tabela 2).

Tabela 2. Taxas de crescimento em diâmetro (DAP), em altura e incremento médio anual em volume (IMA) de *Tachigali vulgaris*, em diferentes idades e locais da Amazônia.

Idade (anos)	DAP ± Desvio (cm) ^{1/}	Altura ± Desvio (m) ^{1/}	IMA em Volume (m ³ ha ano ⁻¹)	Local (Estado)
1	1,8 ± 0,7	1,8 ± 0,6	-	-
2	4,8 ± 0,8	4,0 ± 1,4	-	-
3	6,8 ± 0,3	9,8 ± 1,7	20,7	Amazonas
4	8,9 ± 0,9	11,6 ± 0,7	21,2 a 34,1	Roraima
5,5	9,1	12,2	19,3	Pará
6	15,0 ± 4,0	14,4 ± 0,9	27,7	Roraima
7,5	15,8 ± 1,5	18,4 ± 1,8	29,9 ^{2/}	Pará

Fonte: ^{1/} Adaptado de Sousa et al. (2016), independentemente de local, material genético usado e espaçamento; ^{2/} Valor estimado.

Estudos exploratórios sobre a profundidade do sistema radicular do tachi-branco, em plantios, mostraram não ser possível identificar facilmente a raiz principal, devido à ramificação das raízes secundárias (Tabela 3). Entretanto, foram observados alcances diferentes de profundidade da raiz, dependendo das condições de solo.

Tabela 3. Profundidade do sistema radicular de *Tachigali vulgaris*, em diferentes idades de plantio (constatações a campo), em quatro municípios do estado do Pará.

Local	Idade do plantio (anos)	Comprimento da raiz (m)	Granulometria do solo (g kg ⁻¹)			
			Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
Vigia ^{1/}	3,3	2,9	440	338	73	100
Igarapé-açu ^{1/, 2/, 3/}	1,6	0,7	820-860	-	-	140-180
Santa Maria das Barreiras ^{1/, 4/}	3,6	4,3	542	-	120	337
Dom Eliseu ^{1/}	9,6	2,3	-	-	-	-

^{1/} Três árvores avaliadas por município. ^{2/} Brienza Júnior, dados não publicados. ^{3/} Solo areia quartzosa álica, bem drenada, profunda e com argila plástica (Italo Claudio Falesi, comunicação pessoal). ^{4/} Latossolo amarelo distrófico, típico A moderado, textura muito argilosa (Sousa, 2011).

Plantios experimentais no Cerrado amapaense

O tachi-branco foi introduzido experimentalmente no Cerrado amapaense na década de 1990. Duas linhas de pesquisa foram desenvolvidas: estudos de crescimento, envolvendo diferentes espaçamentos de plantio e melhoramento genético. O primeiro trabalho foi publicado por Castro et al. (1998), tratando sobre o efeito do espaçamento na produtividade e biomassa, concluindo que, de um modo geral, o espaçamento silvicultural mais indicado para o tachi-branco nas condições do Cerrado amapaense foi 3,0 m x 1,0 m. O segundo trabalho avaliou progênies e estimativas de parâmetros genéticos, cujos resultados mostraram variações genéticas altamente significativas para todos os caracteres estudados, quais sejam: sobrevivência, altura, diâmetro, número de hastes e biomassa (Farias Neto; Castro, 1999). O terceiro trabalho versou sobre a eficiência da seleção combinada no melhoramento genético, ficando evidenciada a superioridade da seleção combinada sobre a seleção entre e dentro de progênies, posto que apresentou ganhos relativos maiores que 30%, 42% e 51% para diâmetro, biomassa e altura, respectivamente (Farias Neto; Castro, 1998). Um fato que merece destaque sobre a introdução do tachi-branco no Cerrado amapaense foi que, após a conclusão das pesquisas, o plantio experimental funcionou como uma ilha de dispersão de sementes e, atualmente, visualiza-se a expansão da área que passou a ser ocupada pela regeneração natural, formando pequenos povoamentos da espécie em substituição à vegetação original do Cerrado.

Plantios experimentais em Belterra, Pará

O primeiro experimento com plantio de árvores dentro da Floresta Nacional do Tapajós ocorreu em 1975 (Carvalho-Filho; Marques, 1979). O ensaio contemplou 32 espécies, testadas em três sistemas de plantio: i) blocos monoespecíficos com 36 mudas (espaçamento 1,5 m x 1,5 m); ii) grupo Anderson (grupos monoespecíficos constituídos de 13 mudas espaçadas 1 m x 1 m dentro grupo) e iii) *One tree plot* (OTP - a unidade experimental é representada por uma única planta, ou seja, cada árvore é uma repetição). Aos três anos de idade, os resultados silviculturais observados, para as espécies plantadas em blocos a pleno sol, chamaram a atenção dos autores para o tachi-branco, ou seja, altura média de 7 m e sobrevivência de 76%.

Após esses primeiros indicativos como espécie promissora, outros plantios experimentais de tachi-branco foram colocados no campo, com o objetivo de testar espaçamentos de plantio e selecionar procedências, além da espécie passar a ser considerada, no início dos anos de 1980, ainda que de maneira hipotética, como uma possibilidade para recuperar áreas com solo de baixa fertilidade. É possível observar que o tachi-branco, quando comparado com as demais espécies testadas e com idades diferentes, possui o oitavo maior valor de incremento anual em DAP e o quarto maior valor em altura (Tabelas 4 e 5).

Em plantios experimentais de tachi-branco (4 anos de idade) e castanha-do-pará (10 anos de idade), localizados em Belterra, PA, observou-se que as propriedades químicas do solo (profundidade 0-5 cm) eram praticamente semelhantes àquelas de uma capoeira (vegetação secundária; 10 anos de idade) na mesma localidade (Brienza Júnior; Yared, dados não publicados) (Tabela 6).

Tabela 4. Valores médios de sobrevivência (%), altura (m) e diâmetro à altura do peito (DAP; cm) de algumas espécies florestais nativas e exóticas, com diferentes idades, plantadas experimentalmente em Belterra, PA, no espaçamento de 3 m x 2 m.

Espécies	Idade (meses)	Sobrevivência (%)	Altura (m)	IMA altura (m ano ⁻¹)	DAP (cm)	IMA DAP (cm ano ⁻¹)
<i>Acacia mangium</i>	30	97	7,4	3,0	10,7	4,3
<i>Cordia goeldiana</i>	36	-	3,6	1,2	2,7	0,9
<i>Bagassa guianensis</i>	36	-	4,8	1,6	6,3	2,1
<i>Jacaranda copaia</i>	36	-	3,3	1,9	5,4	2,2
<i>Laetia procera</i>	66	97	7,6	1,4	8,6	1,6
<i>Vismia</i> sp.	66	92	8,6	1,6	7,6	1,4
<i>Tachigali vulgaris</i>	66	95	12,2	2,2	9,1	1,7
<i>Didymopanax morototoni</i>	78	72	11,1	1,7	13,8	2,1
<i>Jacaranda copaia</i>	78	95	12,4	1,9	14,5	2,2
<i>Eucalyptus urophylla</i>	78	86	13,4	2,1	13,2	2,0
<i>Eucalyptus grandis</i>	78	75	16,0	2,5	16,0	2,5

Fontes: Adaptado de Yared et al. (1988) e Brienza Júnior et al. (1995).

Tabela 5. Relação entre carbono e nitrogênio (C/N), conteúdo de nutrientes e produção de serapilheira, aos 66 meses de idade, de *Tachigali vulgaris* e *Corymbia* (ex-*Eucalyptus*) *citriodora* em plantios experimentais homogêneos, no espaçamento de 3 m x 2 m, localizados no município de Belterra, PA.

Espécie	Produção serapilheira (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Relação C/N	Conteúdo de nutrientes na serapilheira (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)				
			N	P	K	Ca	Mg
<i>Tachigali vulgaris</i>	7,7	40	92,0	2,3	3,9	13,9	5,4
<i>Corymbia citriodora</i>	3,3	69	28,0	1,0	2,3	13,7	3,3

Fonte: Brienza Júnior e Yared (dados não publicados).

Tabela 6. Concentração de nutrientes em amostras de solo na profundidade de 0-5 cm, coletadas em plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) (4 anos de idade), *Bertholletia excelsa* (castanheira) (10 anos de idade) e capoeira (vegetação secundária; 10 anos de idade).

Espécie	pH em H ₂ O	Ca	Mg	Al	P	K	Mn	Fe
		meq/100 cm ³			zppm			
<i>Tachigali vulgaris</i>	4,1	0,20	0,14	2,37	5,17	28,83	3,70	178,90
<i>Bertholletia excelsa</i>	4,0	0,13	0,14	2,69	4,40	26,13	6,00	137,87
Capoeira	3,8	0,07	0,15	3,03	4,80	38,90	2,63	177,73

Fonte: Brienza Júnior e Yared (dados não publicados).

Plantios em áreas restauradas pós-lavra de bauxita no município de Trombetas, Pará

A Empresa Mineração Rio do Norte (MRN) restaura suas áreas após a lavra de bauxita, a partir do plantio de um cardápio de espécies nativas. A avaliação do incremento periódico anual (IPA) do diâmetro basal de 35 espécies evidenciou a aptidão ecológica das espécies estudadas. O maior destaque foi do tachi-branco, enquanto outras seis espécies foram classificadas como boas (*Acacia*

polyphylla, *Anacardium occidentale*, *Parkia multijuga*, *Inga edulis*, *Eugenia cumini* e *Abarema turbinata*). Outras 50% das espécies foram consideradas com aptidão regular e sete espécies foram descritas como de fraca aptidão (Salomão et al., 2002). O crescimento em altura ao longo de 14 anos foi monitorado em nove plantas de tachi-branco, enquanto a avaliação do diâmetro à altura do solo (DAS) ajustada ao longo de sete monitoramentos (1, 2, 3, 4, 5, 12 e 14 anos) entre 1996 e 2009, permitiu o ajuste da equação $DMt = 34,04 * t^{1,1835}$, onde t = idade (Tabela 7) (Salomão et al., 2014).

Tabela 7. Crescimento em altura da espécie *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) em diferentes idades, plantada em área pós-lavra de bauxita na Mineração Rio do Norte, Trombetas, PA (n=9 árvores).

Idade (anos)	1	2	3	4	5	12	14
Altura (m)	1,5	6,2	11,3	15,9	17,7	30,4	34,0

Plantios experimentais na Amazônia Ocidental

O tachi-branco foi plantado em diferentes ensaios experimentais na Amazônia Ocidental, nos anos de 1998 (Km 30 da rodovia Manaus/Itacoatiara, AM; Confiança, RR e Ouro Preto, RO), 1999 (DAS, AM) e 2000 (Caldeirão, AM) (Lima, 2004). As principais conclusões das pesquisas realizadas foram: i) tachi-branco se mostrou bem adaptado aos solos com alto teor de alumínio (Al); ii) as variáveis químicas do solo que se correlacionam com o crescimento da espécie são alumínio (Al), sódio (Na), ferro (Fe), carbono (C), magnésio (Mg) e cálcio (Ca); iii) o maior crescimento em altura da espécie foi relacionado com o aumento dos teores de sódio (Na) e fósforo (P); iv) diferentemente do esperado, maiores teores de Mg e Ca não proporcionam maior crescimento em altura da espécie; v) os fatores físicos do solo são mais importantes que os químicos; vi) solos com textura argilosa a muito argilosa favorecem o melhor desempenho da espécie; vii) solos com disponibilidade hídrica acima de 110 mm demonstraram ser mais adequados para o melhor desempenho da espécie e viii) tachi-branco demonstrou boa adaptação aos ambientes estudados, não sendo detectado fator climático nestes locais que restrinja seriamente o crescimento da espécie, além de responder positivamente a níveis mais altos de radiação solar.

Modelo teórico de produção florestal energético-madeireiro

Otimizar o uso de áreas degradadas na Amazônia é um desafio de décadas para governos, pesquisadores, técnicos e agricultores. Do ponto de vista florestal, essas áreas podem contribuir significativamente para o aumento da oferta de alimento e de madeira de valor econômico. Além disso, devem ser consideradas as possibilidades de minimizar danos ambientais decorrentes da emissão de gases de efeito estufa; perdas de solo, água e nutrientes, além da biodiversidade. Para a pesquisa, o desafio é oferecer opções de sistemas produtivos, agrícolas e florestais, economicamente atrativos e, ao mesmo tempo, adequados à legislação ambiental em termos de manutenção de áreas de reserva legal (RL), com aproveitamento econômico na Amazônia.

Com a finalidade de contribuir para o fomento de plantios florestais na Amazônia, Brienza Júnior et al. (2008) propuseram um modelo de produção florestal energético-madeireiro teórico composto pelas espécies castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), andiroba (*Carapa guianensis*), paricá (*Schyzolobium parahyba* var. *amazonicum*) e tachi-branco. Baseado nos indicadores disponíveis na época, a modelagem financeira mostrou a viabilidade econômica do arranjo espacial e dos componentes adotados no sistema de produção.

Castanha-do-pará e andiroba são consideradas as espécies florestais de maturação de longo prazo, com ciclos de cortes estimados em 30 anos. Paricá e tachi-branco podem ser consideradas espécies de ciclo curto, ou seja, o paricá é direcionado para a fabricação de laminados e compensados (colheita entre 6-12 anos de idade) e o tachi-branco, espécie para uso energético (corte a cada ciclo de 6 anos). Os maiores custos do modelo teórico ocorreram na implantação, onde os preços de mudas e fertilizantes contribuem com 72% dos custos no período. A eficiência econômica do modelo proposto está diretamente ligada à implementação de possíveis melhorias em vários aspectos tais como: diminuir o preço das mudas das espécies florestais, aumentar a produtividade do tachi-branco e paricá por meio de um programa de melhoramento genético e melhorar o preço pago pela madeira para lenha para produção de carvão.

Plantio para acúmulo de biomassa e melhorar agricultura de derruba-e-queima

Na Amazônia, a agricultura de corte-e-queima oferece pouca chance de o agricultor familiar aumentar a renda e melhorar o padrão de vida devido à redução dos períodos de pousio entre plantios agrícolas. Como causa desse processo, tem-se a diminuição da fertilidade e perda de nutrientes do solo (Hölscher et al., 1997; Kato, 1998). O uso de espécies arbóreas tem sido indicado como alternativa para enriquecer a vegetação de pousio, a partir da fase agrícola, com o propósito de aumentar o acúmulo de biomassa em curtos períodos de pousio, além de contribuir para manter o ciclo biogeoquímico de nutrientes, no curto prazo.

O enriquecimento de capoeira, a partir do plantio de árvores leguminosas de crescimento rápido, é uma alternativa tecnológica para acelerar o acúmulo de biomassa (Brienza Júnior, 1999). Esse processo, além de possibilitar um curto período de pousio, pode produzir uma vegetação secundária de vigor semelhante àquela encontrada em capoeiras antigas, em estágio sucessional avançado (Brienza Júnior, 1999). A performance silvicultural do tachi-branco e de outras quatro espécies arbóreas, plantadas no espaçamento 2 m x 1 m, para enriquecimento da vegetação de pousio, foi avaliada aos 2,5 anos de idade (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativas de médias e erro padrão para altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e volume de madeira, aos 24 meses de idade, para quatro leguminosas arbóreas plantadas no espaçamento 2 m x 1 m, em conjunto com culturas agrícolas, para enriquecer a vegetação de pousio sequencial, no município de Igarapé-Açu, PA.

Espécie	Altura (m)	DAP (cm)	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Biomassa (kg ha ⁻¹)
<i>Acacia mangium</i>	7,0 ± 0,2	5,6 ± 0,2	56,7 ± 12,7	33,320 ± 9,240
<i>Inga edulis</i>	4,9 ± 0,5	3,7 ± 0,4	30,4 ± 9,8	13,480 ± 3,010
<i>Acacia angustissima</i>	4,9 ± 0,1	3,4 ± 0,2	21,0 ± 4,3	17,400 ± 3,660
<i>Tachigali vulgaris</i>	4,9 ± 0,3	3,9 ± 0,1	17,8 ± 2,6	12,730 ± 1,940
<i>Clitoria racemosa</i>	3,4 ± 0,2	2,9 ± 0,2	13,4 ± 1,3	6,890 ± 640

Fonte: Brienza Júnior (1999).

De maneira geral, os resultados de crescimento em altura, DAP, volume e biomassa das árvores plantadas para enriquecimento mostraram que é possível melhorar a biomassa da vegetação de pousio. As espécies estudadas podem ser divididas em três grupos: i) *A. mangium* (crescimento rápido e maior acúmulo de biomassa); ii) *I. edulis*, *A. angustissima* e *T. vulgaris* (crescimento e acúmulo de biomassa intermediário) e iii) *C. racemosa* (crescimento lento e baixo acúmulo de biomassa).

Recuperação de áreas degradadas em propriedades de agricultores familiares

Mudar práticas em propriedades de agricultura familiar na Amazônia, a partir do plantio de espécies florestais, foi o foco de um trabalho realizado com 28 agricultores familiares, em três municípios do nordeste do Pará (Brienza Júnior et al., 2021). De um total de 16 espécies selecionadas, o tachi-branco foi escolhido para plantio em áreas abandonadas de agricultura, pasto e capoeira, em propriedades de agricultores familiares.

Aos 9,4 anos de idade, a espécie apresentou, dependendo do manejo da propriedade e do sistema produtivo escolhido, variações de sobrevivência (27-86%), altura (15-23,8 m) e DAP (17,4-26,8 cm) (Dias, 2018). A amplitude das variáveis estudadas (sobrevivência e altura) das espécies plantadas nas propriedades dos agricultores permitiu visualizar a plasticidade das espécies, em função dos arranjos de plantio, manejo da área e condições biofísicas locais (solo e clima). As espécies que apresentaram maior representatividade, seja pelo número de indivíduos plantados ou pela elevada taxa de sobrevivência ao final, foram: tachi-branco, mogno e paricá.

Experimento no município de Dom Eliseu, Pará

Na metade da primeira década dos anos 2000, uma parceria entre a Embrapa Amazônia Oriental e a Empresa Carbon Positive Gerenciamento de Projetos Brasil permitiu a implantação de um projeto para estudar a silvicultura (taxas de crescimento, adubação, espaçamento e carbono) das espécies florestais *Acacia mangium* (acácia), *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá), *Tectona grandis* (teca), *Khaya* sp. (mogno-africano) e *T. vulgaris* (tachi-branco), no município de Dom Eliseu,

PA. O desempenho silvicultural do tachi-branco mostrou diferentes respostas para os três espaçamentos estudados (Tabela 9).

Tabela 9. Sobrevivência, altura, diâmetro à altura do peito (DAP) e biomassa de árvores de *Tachigali vulgaris*, aos 7,5 anos de idade, plantadas em três espaçamentos (4 m x 2 m, 4 m x 3 m e 4 m x 4 m), no município de Dom Eliseu, PA.

Espaçamento	Sobrevivência (%)	Altura (m)	DAP (cm)	Biomassa (kg árvore ⁻¹)
4 m x 2 m	52	19,0	16,7	466,4
4 m x 3 m	63	19,4	17,9	468,1
4 m x 4 m	78	19,4	18,3	538,9

Fontes: Adaptado de Narducci et al. (2016) e Cerveira (2019).

O potencial de contribuição do banco de sementes do solo na indução de biodiversidade via regeneração natural também foi avaliado com o objetivo de verificar o potencial de uso do tachi-branco (Narducci et al., 2021). Nos três espaçamentos, a composição florística foi caracterizada pela predominância da forma de vida erva (89-92%) (Narducci et al., 2021). A riqueza estimada foi diferente entre os espaçamentos, mas ressalta-se que qualquer densidade de plantio pode ser usada para recompor e conservar o banco de sementes no solo. Além disso, há um estoque potencial de sementes no solo (6-8%) de espécies arbóreas que podem ajudar na restauração florestal, quando apropriado (Narducci et al., 2021).

Zoneamento topoclimático

O zoneamento topoclimático para uma espécie florestal permite melhorar a orientação de plantios com menores chances de insucesso do empreendimento. Do total de áreas antropizadas identificadas no âmbito do Projeto de Uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal (Uzee) (Cabral, 2022), cerca de 57% foram consideradas de grande potencial para o plantio de tachi-branco em sistemas florestais produtivos puros, mistos ou agroflorestais. Em 36% da referida área, a espécie apresenta médio potencial de crescimento e apenas 7% foram consideradas como baixo potencial topoclimático (Figura 1) (Martorano et al., 2018).

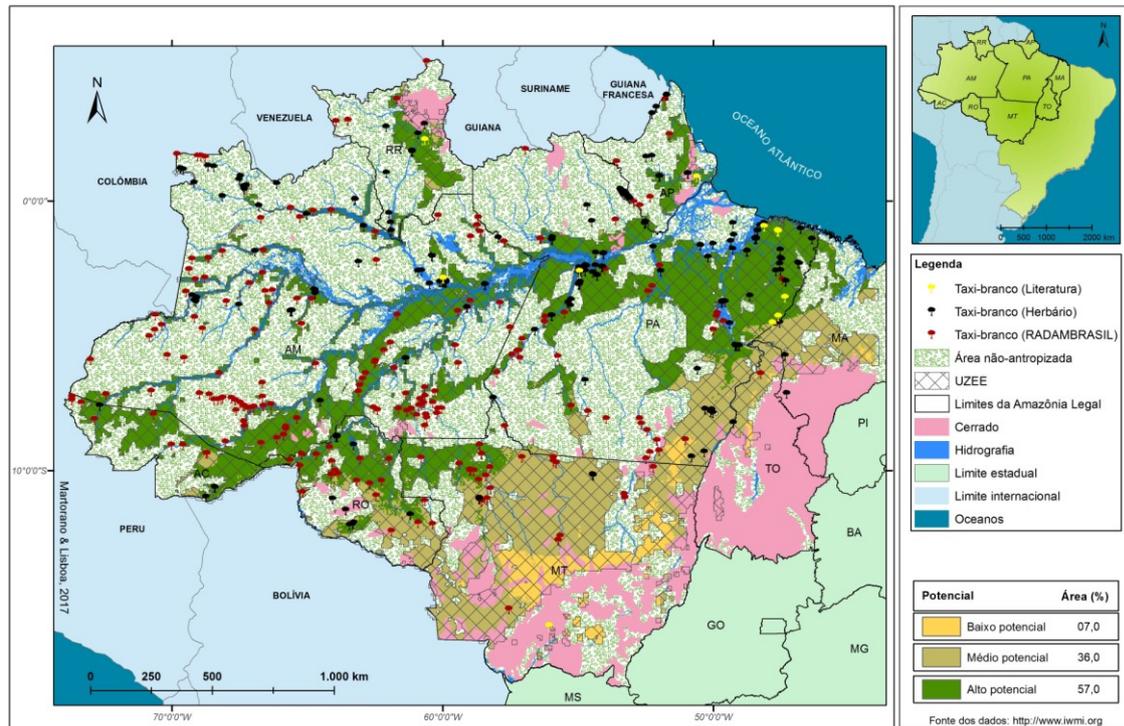


Figura 1. Zoneamento topoclimático de *Tachigali vulgaris* para a Amazônia Legal.

Fonte: Martorano et al. (2018).

Considerações finais

No momento, os desafios para alavancar a silvicultura do tachi-branco dizem respeito a: i) produção de sementes com melhor qualidade genética, visando ganhos de produtividade e qualidade da madeira e do fuste; ii) exigências nutricionais em nível de campo e espaçamento; iii) tecnologias para propagação de vegetativa e iv) tecnologia da madeira para diferentes propósitos. Além disso, é necessário organizar o processo de disponibilização de sementes melhoradas e incentivos para se iniciar o estabelecimento de plantações comerciais em pequena, média e grande escalas.

Referências

BRIENZA JÚNIOR, S.; VIEIRA, I. C. G.; YARED, J. A. G. **Considerações sobre recuperação de áreas alteradas por atividades agropecuária e florestal na Amazônia brasileira.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. 27p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 83). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60886/1/CPATU-Doc83.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

BRIENZA JÚNIOR, S. **Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the eastern Amazon of Brazil.** Gottingen: E. G. GmbH, 1999. 133 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166830/1/BIOMASS-DYNAMICS-.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022

BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, J. F.; YARED, J. A. G.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GONÇALVES, D. de A.; GALEÃO, R. R. Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 4, n. 7, p. 197-219, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30506/1/Recuperacao-de-Areas-.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022

BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; LOPES, S. R. M.; FERREIRA, M. do S. G.; MATTOS, M. M. de; SOUSA, V. G. de; POÇA, R. R. da. **Espécies florestais nativas para recuperar áreas degradadas em propriedades de agricultura familiar na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2021. 38 p.

CABRAL, K. Pesquisa disponibiliza informações sobre uniformização do Zoneamento Ecológico-Econômico na Amazônia Legal. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/24893344/pesquisa-disponibiliza-informacoes-sobre-uniformizacao-do-zoneamento-ecologico-economico-na-amazonia-legal>. Acesso em: 19 out. 2022

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*)**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1983. 10 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022

CARVALHO-FILHO, A. P.; MARQUES, L. C. T. Seleção de espécies promissoras para atividades de reflorestamento em função das características silviculturais – Relatório técnico de avaliação preliminar. **Brasil Florestal**, v. 10, n. 37, p. 72-87, 1979.

CARVALHO, J. E. U. de; FIGUEIREDO, F. J. C. **Biometria e métodos para superação da dormência de sementes de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)**. Belém: Embrapa-CPATU, 1991. 18 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 114). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/382566/1/BoletimPesquisa114CPATU.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA - CNPF; Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 640 p.

CARVALHO, P. E. R. **Taxi-branco: Taxonomia e nomenclatura**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/288825/1/circtec111.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022

CASTRO, A. W. V. de; YARED, J. A. G.; ALVES, R. N. B.; SILVA, L. S.; MEIRELLES, S. M. L. B. Comportamento silvicultural de *Sclerolobium paniculatum* (taxi-branco) no Cerrado amapaense. Macapá: EMBRAPA-UEPAE Macapá, 1990. 4 p. (EMBRAPA-UEPAE Macapá. Comunicado técnico, 7). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/64948/1/AP-1990-comportamento-silvicultural-cerrado-amapaense.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022

CASTRO, A. W. V. de; FARIAS NETO, J. T. de; CAVALCANTE, E. da S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 141-146, 1998.

CERVEIRA, S. S. **Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo em floresta plantada com taxi-branco (*Tachigali vulgaris*), Dom Eliseu/Pará**. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém.

COUTINHO, C. H. O. **Enriquecimento de capoeira: recuperação de áreas alteradas e fonte alternativa de renda para agricultores familiares da Amazônia Oriental brasileira**. 2008. Monografia (Especialização em Meio Ambiente) - Universidade Federal do Pará, Belém.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. V. H.; JUCKSCH, I.; BARROS, N. F. de; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): I. Resposta a calcário e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 69-76, 1991.

DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; ALVARES, V. V. H.; BARROS, N. F. de; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): II. Resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p.135-143, 1992.

DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém. **Anais** [...]. Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical/USDA-Serviço Florestal. Belém: Embrapa-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

DIAS, P. H. N. **Espécies florestais nativas para recuperar áreas degradadas em propriedades de agricultura familiar na Amazônia**. 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém.

ENCARNACIÓN, C. F. **Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Peru**. Lima: Instituto Nacional Forestal y de Fauna, 1983. 149 p.

FARIAS NETO, J. T. de; CASTRO, A. W. V. de. Variabilidade genética em famílias de meio-irmãos de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*). **Revista Árvore**, v. 22, n. 3, p. 389-394, 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220915/1/Variabilidade-de-genetica-em-familias.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

FARIAS NETO, J. T. de; CASTRO, A. W. V. de. Avaliação de progênies de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*) e estimativas de parâmetros genéticos. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 3, p. 423-428, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921999293428>.

HÖLSCHER, D.; MÖLLER, M. R. F.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Nutrient input-output budget of shifting cultivation in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, p. 49-57, 1997.

KATO, M. do S. A. **Fire-free land preparation as na alternative to slash-and-burn agriculture in the Bragantina region, Eastern Amazon**: crop performance and phosphorus dynamics. Gottingen: E. G. GmbH, 1998. 132 p.

LIMA, R. M. B. de. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

LUNZ, A. M.; CAMARGO, A. P.; VALENTE, R. M. *Compsus azureipes* (Curculionidae: Entiminae), desfolhador de *Sclerolobium paniculatum*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 381-383, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56541/1/VersaoFinalCompsusTaxiBranco.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MATOS, A. de O. **Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em taxi (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL) de diferentes idades, em Belterra, Pará**. 1993. 110 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. de S. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar no Pantanal dos Rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 15, n. 2, p. 213-229, 2001.

MARTORANO, L. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; MONTEIRO, D. C. A.; LISBOA, L. S.; CÂNCIO, O. N.; MARTORANO, P. G.; SANTO, J. M. do E. Condições topobioclimáticas associadas à ocorrência de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) e paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) preferenciais para implantação de plantios florestais no Estado do Pará. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Anais** [...]. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30174/1/LucietaMartorano.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L. S.; ESPIRITO SANTO, J. M. do; ALMEIDA, R. F. Top-bioclimate conditions associated with the natural occurrence of two Amazonian tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 144, p. 111-122, 2011. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/144/21935>. Acesso em: 19 out. 2022.

MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JUNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F.) na Amazônia Legal**: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-OnLine.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

MATOS, A. de O. **Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em taxi (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL) de diferentes idades, em Belterra, Pará**. 1993. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIRÓZ, J. A. L. de. **Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL)**: leguminosa arbórea para recuperação de áreas degradadas e abandonadas pela agricultura migratória. Macapá: Embrapa Amapá, 1999. 5 p. (Embrapa Amapá. Comunicado Técnico, 28). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35266/1/taxi-branco-CT.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JUNIOR, S. Growth and survival of *Sclerolobium paniculatum* Vogel and the relationship between rainfall and the increment in diameter at different planting spacings. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 447-454, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000300008>.

NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JUNIOR, S. Banco de sementes do solo sob plantios de *Tachigali vulgaris* (L. G. Silva & H. C. Lima) em diferentes espaçamentos na região leste do Estado do Pará, Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 132, e3719, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.11>.

PAULA, J. E. de. Madeiras que produzem álcool, coque e carvão. **Atualidades do Conselho Nacional do Petróleo**, v. 12, n. 72, p. 31-45, 1980.

SALOMÃO, R. de P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C. Dinâmica de reflorestamentos visando a restauração da paisagem florestal em áreas de mineração na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 18, n. 1, p. 157-194, 2002. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v2i2.707>.

SALOMÃO, R. de P.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 1-24, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100001>.

SOUSA, V. G. de. **Comportamento silvicultural e dinâmica de serapilheira em plantios de duas espécies florestais na Amazônia Oriental brasileira**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, Belém.

SOUSA, V. G. de; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima)**: botânica, ecologia e silvicultura. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 426). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154191/1/DOCUMENTOS-426-Ainfo.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. **Taxi-branco (*Sclerobium paniculatum* Vogel)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2004. 23 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 34). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAA-2009-09/11952/1/Doc_34.pdf. Acesso em: 19 out. 2022.

STEEG, H. T. [et al.]. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. **Science**, v. 342, p. 325-334, 2013. DOI: 10.1126/science.1243092.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerobium paniculatum* Vogel). **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 1, n. 6/7, p. 26-32, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaselli.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

VALE, A. T. do; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981702>.

VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JUNIOR, S.; NEVES, C. de B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel) Leg: Caesalpinoideae. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém. **Anais [...]**. Belém: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. p. 83-90. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57956/1/Doc123-p83-90.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

YARED, J. A. G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J. G. L. da. **Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós - Pará**. Belém: Embrapa-CPATU, 1988. 29 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 49). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58704/1/CPATU-Doc49.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

Manejo silvicultural de plantações de *Tachigali vulgaris*

Marciel José Ferreira
Roberval Monteiro Bezerra de Lima
Celso Paulo de Azevedo
Francisco Itamar Gonçalves Melgueiro
Zilza Thayane Matos Guimarães
Lariany Falcão de Lima Lopes
Isys Nathally de Lima Silva

Introdução

O acumulado de áreas desflorestadas ou degradadas tem aumentado na Amazônia Legal e já soma cerca de 82 milhões de ha (Inpe, 2022). Entretanto, uma extensão pouco representativa dessas áreas, cerca de 0,42%, está reflorestada com plantações de espécies nativas para produção industrial (Inpe, 2016). Dentre os principais fatores que dificultam a implementação de experiências silviculturais com espécies nativas na região Amazônica, destaca-se a carência de protocolos de implantação e manejo das plantações baseados em robusto conhecimento científico e a baixa disponibilidade de sementes e mudas de qualidade (Nunes et al., 2020; Rolim et al., 2020). Apesar dessas dificuldades, diferentes estudos têm demonstrado o uso preferencial de espécies nativas de grande interesse econômico para a produção de bens madeireiros e não madeireiros (Walters et al., 2005; Hoch et al., 2009).

Em plantações industriais, as espécies são selecionadas, dentre outros fatores, com base no potencial econômico, ritmo de crescimento e propriedades tecnológicas da madeira. *Tachigali vulgaris*, conhecida como tachi-branco, é uma espécie pioneira de alto potencial energético e tem sido indicada como apta para programas de reflorestamento na Amazônia (Salomão et al., 2014; Martorano et al., 2018). A alta produtividade de liteira (Mochiutti et al., 2006) somada às características de poder calorífico e rendimento no processo de carbonização da biomassa, justificam o uso da espécie em projetos de recuperação de áreas alteradas, pois, ao final do período de pousio, o agricultor poderá obter bons rendimentos econômicos com a venda de lenha ou carvão, além de ter recuperado a área para novos cultivos (Mochiutti et al., 1999).

No presente trabalho, foram discutidos diferentes aspectos decisivos para a implantação e manejo de plantações florestais, que permanecem como lacunas na silvicultura de espécies nativas. Ademais, são apresentados resultados de pesquisas científicas direcionadas à espécie *T. vulgaris*, com o objetivo de promover a expansão de plantações florestais de espécies nativas de alto valor econômico na região Amazônica.

Estabelecimento inicial de plantações florestais: efeitos de qualidade das mudas e do sítio de plantio

Antigamente, os silvicultores atribuíam o mau desempenho do plantio a fatores como estresse ambiental, pastoreio de animais ou a danos causados por doenças ou insetos (Grossnickle; Macdonald, 2018b). Somente a partir da década de 1930 foram iniciados estudos que relacionaram os atributos

medidos no final da etapa de viveiro com o desempenho no campo. Desde então, o uso de mudas de baixa qualidade começou a ser sugerido como causa para as falhas nos plantios (Grossnickle; Macdonald, 2018b). Atualmente, sabe-se que a qualidade da muda utilizada é fundamental para o sucesso dos plantios florestais (Budiman et al., 2015; Grossnickle; Macdonald, 2018a; Melo et al., 2018). O padrão de qualidade é definido pelos atributos necessários para que uma muda sobreviva e se desenvolva após o plantio no campo (Freitas et al., 2012). Dessa forma, em um programa de qualidade de mudas, é preciso definir características que assegurem o potencial tanto para sobreviver inicialmente quanto para crescer após o plantio no campo (Grossnickle; Macdonald, 2018b). Para a determinação da qualidade das mudas são utilizadas características morfológicas (aspectos fenotípicos) e fisiológicas (processos e estrutura interna) (Grossnickle; Macdonald, 2018b), embora as características morfológicas sejam mais utilizadas por serem mais aceitas pelos viveiristas (Eloy et al., 2013). Contudo, a relação entre as características de qualidade da muda (tais como altura e diâmetro do coleto) e o estabelecimento (crescimento e sobrevivência) pode variar tanto de acordo com a espécie (Tsakalimi et al., 2013) quanto com o tempo (Ivetic et al., 2016).

A premissa de que a qualidade da muda é definida no sítio de plantio e não no viveiro é um dos pilares do Conceito de Planta Modelo, em inglês, *Target Plant Concept*. Este é um modelo de estrutura projetado para unificar as ações de produção da muda e o estabelecimento no campo, a partir de um único processo holístico (Davis; Pinto, 2021). Planta modelo ou planta alvo é o termo utilizado para indicar características desejáveis das plantas, ou seja, aquelas que irão promover maior crescimento e sobrevivência no campo (Landis et al., 2011). Contudo, para se obter uma planta modelo, é preciso considerar diferentes aspectos, tais como: objetivo do plantio, caracterização do sítio e suas limitações, escolha da espécie, origem do material e época do plantio, sendo necessário o trabalho conjunto de viveiristas e silvicultores para definir a planta alvo em cada projeto (Landis, 2011; Davis; Pinto, 2021).

Um dos problemas dos viveiros florestais é determinar, durante a fase de viveiro, quais características morfológicas podem afetar o desempenho no campo (Aguiar et al., 2011). A determinação da qualidade da muda pode se basear tanto nos aspectos fenotípicos, que são os parâmetros morfológicos, como nos aspectos internos das mudas, os parâmetros fisiológicos (Gomes et al., 2002). Entretanto, na realidade, apenas um pequeno número de características é usado, porque uma “medida operacional ideal” precisa ser rápida, simples, barata, confiável, não destrutiva, quantitativa e de diagnóstico (Grossnickle; Macdonald, 2018b). A obtenção de mudas de qualidade pode ser alcançada por meio da medição de parâmetros morfológicos (Eloy et al., 2013). Podem ser destacadas características morfológicas tais como: altura (H), diâmetro (D), número de folhas, massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), volume de raiz (VR) e os índices ou indicadores de qualidade da muda como: razão H/D, razão MSPA/MSR e índice de qualidade de Dickson (IQD). As características morfológicas (e.g. altura e diâmetro) são mais fáceis de mensurar e têm sido amplamente utilizadas para avaliação da qualidade das mudas de espécies florestais (Wilson; Jacobs, 2006; Tsakalimi et al., 2013; Grossnickle; Macdonald, 2018a; Melo et al., 2018). Essas características têm sido capazes de prever o desempenho no campo de diferentes espécies florestais (Mattson, 1997; Jacobs et al., 2005; Tsakalimi et al., 2013).

Vários são os tratamentos que podem alterar as características morfológicas e os indicadores de qualidade das mudas pelo manejo no viveiro, para se alcançar uma resposta desejável no campo. Estudos sobre a qualidade de mudas vêm sendo preferencialmente realizados considerando a qualidade da muda em resposta aos tratamentos como substrato (características físico-químicas, tipo

de substrato, proporção utilizadas, substratos alternativos), nutrição e fertilização (diferentes dosagens de micronutrientes e suas fontes) e manejo da intensidade de luz (usando sombreamento e espectros específicos por meio de luzes LED) (Gallegos-Cedillo et al., 2021). No entanto, a maioria dos trabalhos tem sido realizada somente em casa de vegetação e não avaliam o desempenho posterior no campo. Estudos que avaliam os atributos de qualidade da muda e o seu estabelecimento no campo em espécies florestais nativas são escassos. O que se conhece sobre a relação desses atributos com o crescimento e sobrevivência é geralmente obtido a partir de espécies exóticas, especialmente dos gêneros *Pinus* (Tsakalimi; Ganatsas, 2006; Tsakalimi et al., 2013) e *Quercus* (Villar-Salvador et al., 2004; Jacobs et al., 2005; Tsakalimi et al., 2013).

A seleção das características indicadoras de um padrão de muda mais adequado para projetos de reflorestamento deve considerar a qualidade do sítio de plantio (South et al., 2001). Mudanças mais altas podem ter mais vantagem em ambientes florestais sombreados (Martinez-Garza et al., 2013) e em sítios que têm competição com gramíneas (Haase, 2007). Entretanto, mudas maiores podem ter desvantagem em sítios secos devido à maior área de superfície transpiratória (Haase, 2007; Zida et al., 2008). Martinez-Garza et al. (2013) encontraram efeito do sítio sobre a relação entre qualidade da muda e o desempenho no campo, onde mudas com menores diâmetros (< 4 mm) só apresentaram baixa sobrevivência em resposta à seca quando plantadas em solos rasos, sendo que, em solos mais profundos, não houve efeito do tamanho da muda. Dessa forma, estudos considerando a seleção dessas características em resposta ao sítio de plantio devem ser realizados.

Plantações florestais na Amazônia podem ser realizadas sobre uma grande variedade de sítios de plantio, mas a maioria é considerada área marginal, que se encontra desflorestada e, ou degradada e possui diferentes fatores limitantes à sobrevivência e ao crescimento das mudas. Neste sentido, o conhecimento das limitações do sítio de plantio possibilita adotar práticas de manejo com o objetivo de reverter tais limitações, na expectativa de alcançar a máxima produtividade econômica do povoamento (Rubilar et al., 2018). Alterações nas características físicas do solo (por exemplo, compactação) podem ser fatores limitantes para a máxima produtividade do sítio (Finger et al., 1996). Assim, as condições de aeração, infiltração, umidade e disponibilidade de nutrientes ao sistema radicular também podem afetar o crescimento das mudas no campo (Marcuzzo et al., 2014). Na ausência de alternativas para melhorar as condições do solo, o desempenho das mudas no campo poderá ser severamente comprometido (Löff et al., 2012).

O preparo do solo durante a etapa de implantação de povoamentos florestais intensamente manejados é prática comum no mundo (Rubilar et al., 2018). O preparo do solo pode ser adotado para melhorar as condições físicas que limitam o estabelecimento do plantio, pois diminui a resistência física ao desenvolvimento das raízes, aumentando o volume de solo que pode ser explorado e permitindo maior aquisição de recursos pelas plantas (Palacios et al., 2009; Löff et al., 2012; Marcuzzo et al., 2014). Além disso, o preparo adequado do solo tem por objetivo propiciar que o máximo potencial genético da planta seja expresso sem alguma limitação do sítio de plantio. Quando aplicado adequadamente, o preparo do solo pode manter ou aumentar a produtividade florestal no médio e longo prazo (Santos; Reichert, 2022). Dentre os métodos de preparo do solo convencionalmente utilizados (por exemplo, controle de vegetação invasora, fertilização etc.), convém destacar o preparo mecanizado do solo, o qual inclui métodos de preparação que, normalmente, envolvem o uso de grandes máquinas pesadas com certos implementos anexados para preparar uma área e seu solo, para o estabelecimento de árvores (Löff et al., 2012).

Os três principais tipos de preparo mecânico do sítio voltado ao manejo dos solos são a escarificação, o amontoamento e a subsolagem (Löff et al., 2012). O escarificador e o subsolador estão entre os implementos mais usados para o estabelecimento de plantios florestais (Cavichiolo et al., 2005; Dedecek et al., 2007). A subsolagem é um método usado para aumentar a aeração, infiltração e drenagem da água do solo, além de reduzir a densidade do solo (Dedecek et al., 2007; Löff et al., 2012; Marcuzzo et al., 2014). Este método é a prática mais comum em plantios de eucalipto (Santos; Reichert, 2022). A subsolagem fratura a estrutura do solo sem misturar os horizontes e é um método muito usado em solos secos, áreas degradadas por mineração ou para solos que possuem uma camada superficial compactada que restringe o crescimento das raízes e o desenvolvimento das plantas (Löff et al., 2012). Porém, a descompactação do solo pode alcançar camadas mais profundas dependendo do tamanho da haste (Finger et al., 1996; Akinci et al., 2004). De acordo com Querejeta et al. (2001), em reflorestamento de *Pinus halepensis* sob clima semiárido, tratamentos de preparo do solo com subsolagem aumentaram o conteúdo de água no solo e diminuíram a resistência à penetração. Dedecek et al. (2007), ao avaliar diferentes tratamentos de preparo do solo (subsolagem com subsolador de diferentes hastes, abertura de covas manual e abertura mecânica – broca acoplada a um trator), encontraram modificações na estrutura do solo nos preparos com subsolador principalmente na camada superficial (solo menos denso, mais permeável e mais poroso). No entanto, deve-se destacar que os efeitos da subsolagem devem diminuir conforme o passar dos anos (Akinci et al., 2004).

A subsolagem pode favorecer a sobrevivência e o crescimento das mudas, uma vez que possibilita o alcance de maiores profundidades pelas raízes (Cavichiolo et al., 2005; Dedecek et al., 2007) e pode aumentar a absorção de água em locais mais secos. Entretanto, o desempenho de mudas após o preparo mecanizado da área é muito dependente, tanto das espécies como das condições de sítio (Löff et al., 2012) e deve ser mais bem compreendido. Barbosa et al. (2003), ao avaliar o estabelecimento inicial de *Ochroma lagopus* e *Jacaranda copaia* em resposta ao preparo da área, encontraram efeito positivo da gradagem nas taxas de sobrevivência apenas para *O. lagopus*. Os resultados também mostraram que a gradagem beneficiou o crescimento de *O. lagopus* após o primeiro ano de plantio; enquanto para *J. copaia*, o crescimento em área gradeada foi maior somente a partir do segundo ano de plantio. Dedecek et al. (2007), ao comparar o estabelecimento de *Acacia mearnsii* em diferentes tratamentos de preparo do solo (subsolagem com subsolador de diferentes hastes, abertura manual e abertura mecânica de covas), encontraram menor sobrevivência de mudas no tratamento de abertura manual de covas, enquanto o crescimento não foi afetado pelo método de preparo do solo. Finger et al. (1996) verificaram o efeito de dois tratamentos de preparo de solo (subsolagem a 60 cm e abertura manual de covas de 13 cm de profundidade) na sobrevivência e crescimento de *Eucalyptus saligna* em uma área abandonada após uso com agricultura e pastoreio. Esses autores destacaram crescimento 50% superior das plantas de *E. saligna* no tratamento com subsolagem, enquanto a sobrevivência teve aumento de apenas 6% em comparação ao tratamento de abertura manual. Marcuzzo et al. (2014), buscando identificar espécies potenciais para a recuperação de áreas degradadas em diferentes métodos de preparo do solo (cova e subsolagem), encontraram que a subsolagem na linha de plantio proporcionou melhor crescimento no diâmetro do coleto das espécies plantadas, enquanto para altura não houve efeito do preparo do solo.

O fato de o desempenho dos plantios no campo também ser afetado pela qualidade da muda, indica a necessidade de melhor compreender os efeitos da interação qualidade da muda e sítio de plantio sobre o estabelecimento das espécies (Palacios et al., 2009). Neste contexto, o Grupo de Pesquisa em Silvicultura de Florestas Plantadas na Amazônia iniciou, em 2018, o projeto de pesquisa intitulado “Introduzindo conhecimento científico na definição do padrão de mudas de espécies florestais de

importância econômica em resposta à qualidade do sítio”. O objetivo principal do estudo é investigar se o padrão de qualidade das mudas influencia o estabelecimento inicial de espécies florestais de importância econômica em resposta à qualidade do sítio.

O experimento está instalado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (Faexp-Ufam), localizada no km 38 da Rodovia BR-174 (02°38'57”S e 60°03'11”W), Manaus, AM. O ensaio experimental de campo foi implementado no delineamento de blocos casualizados (DBC), em ensaio de parcelas subdivididas com três repetições (blocos). Dois fatores principais e a interação entre eles estão sendo avaliados: 1) Porte da muda (quatro classes de tamanho): variação no diâmetro do coleto e 2) Qualidade do sítio (dois métodos de preparo do solo): preparo mecanizado (subsolagem + gradagem) e abertura manual das covas. As espécies utilizadas no experimento foram selecionadas em função da alta importância econômica na região e por comporem diferentes experiências silviculturais já realizadas, sendo elas: *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira da Amazônia), *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. (cumaru) e *Tachigali vulgaris* (tachi-branco).

Ao final da fase de produção em viveiro, as mudas de cada espécie foram agrupadas em quatro classes de tamanho ou classes de diâmetro (CD) conforme a variação do diâmetro do coleto (dc): *B. excelsa* e *D. odorata*: CD1: $3 \leq dc < 4$ mm; CD2: $4 \leq dc < 5$ mm; CD3: $5 \leq dc < 6$ mm e CD4: $6 \leq dc < 7$ mm e *T. vulgaris*: CD1: $2,5 \leq dc < 3,5$ mm; CD2: $3,5 \leq dc < 4,5$ mm; CD3: $4,5 \leq dc < 5,5$ mm e CD4: $5,5 \leq dc < 6,5$ mm. A seleção foi baseada no diâmetro da região do coleto, pois esta característica se correlaciona com a massa seca total da planta e o tamanho do sistema radicular (Coll et al., 2008; Bayala et al., 2009). Esse agrupamento inicial teve como objetivo implantar no campo um número semelhante de mudas em cada classe. O tratamento de preparo do sítio foi realizado seis meses antes do plantio (outubro de 2018). A operação de subsolagem foi realizada por um trator de rodas com potência de 85 cv. O trator tracionou um arado subsolador (com capacidade para cinco hastes) com duas hastes colocadas lado a lado, haste reta regulável medindo 70 cm. O uso das duas hastes teve como objetivo aumentar a largura da subsolagem (30-40 cm). Foi realizada a subsolagem somente na linha de plantio (método do cultivo mínimo) até a profundidade média de 40 cm. Foi também realizada a gradagem na linha de plantio com o objetivo de promover a quebra de torrões remanescentes após a subsolagem. A abertura manual das covas (30 cm x 30 cm x 30 cm) foi realizada em ambos os tratamentos (com e sem subsolagem). Em abril de 2019, foram plantadas 726 mudas (432 em parcela útil e 294 formando as bordas) no espaçamento de 3 m x 2 m. Cada espécie possui 24 mudas por tratamento de preparo do solo distribuídas em quatro classes de tamanho.

No “I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*” foram apresentados os resultados preliminares da pesquisa na palestra intitulada “Manejo silvicultural das plantações de *Tachigali vulgaris*”. Foram destacados os resultados obtidos após 32 meses de experimentação para a espécie tema do evento. Durante este período, em todo o experimento, somente 10,2% das mudas morreram (44 mudas mortas das 432 plantadas) (Figura 1A). *T. vulgaris* apresentou mortalidade em todas as classes de tamanho em ambos os sítios de plantio (preparo manual e mecanizado). Ao longo dos 32 meses, ocorreu maior redução na sobrevivência de *T. vulgaris* no sítio manual (Figura 1B). A maior redução (-4%) ocorreu durante o terceiro ano de estabelecimento, aos 28 meses após o plantio. A mortalidade das mudas foi causada principalmente por tombamento em decorrência de ventos fortes durante eventos de chuva. Para o crescimento em altura, somente a CD1 parece ser superior as demais classes, sendo 23% e 15% superior à CD4 nos respectivos sítios, manual e mecanizado (Figura 1C). Para o crescimento em diâmetro, essa tendência é mais evidente no sítio com preparo manual (onde a CD1 teve valores 21% superiores à CD4) do que no sítio com preparo mecanizado (onde a CD1 é 12% superior à CD4) (Figura 1D). Destaca-se também que as taxas de crescimento

na CD1 em ambos os sítios obtiveram valores similares, havendo uma pequena variação entre os sítios de 0,7% para TCR-a e 2% para TCR-d. *T. vulgaris*, no decorrer dos três anos, obteve elevados valores de altura, especialmente no primeiro ano, em que aumentou 5,4 e 4,3 vezes a altura no sítio mecanizado e manual, respetivamente (Figura 1E).

Nos anos seguintes, o crescimento diminuiu em ambos os sítios, com valores médios de 2,4 vezes para o segundo e 1,4 vezes para o terceiro ano de estabelecimento. Vale destacar que, no crescimento em diâmetro, a espécie *T. vulgaris* obteve valores ainda maiores para o primeiro ano, onde o sítio mecanizado e manual teve, respectivamente, aumento de 14 vezes e 10,9 vezes nos valores de diâmetro (Figura 1F). No segundo e terceiro anos, os aumentos em diâmetro foram menos expressivos (em média 2 vezes para o segundo ano e 1,2 vezes para o terceiro ano em ambos os sítios). *T. vulgaris* apresentou alto percentual de indivíduos com ocorrência de forquilhamento, com maiores valores para o sítio com preparo mecanizado (65%) em comparação ao sítio com preparo manual (26%) (Figura 1G). A espécie também exibiu alta produtividade de liteira, sendo que neste experimento a produtividade foi $62,9 \text{ g m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ no sítio com preparo mecanizado e $49,9 \text{ g m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ no sítio com preparo manual (Figura 1H).

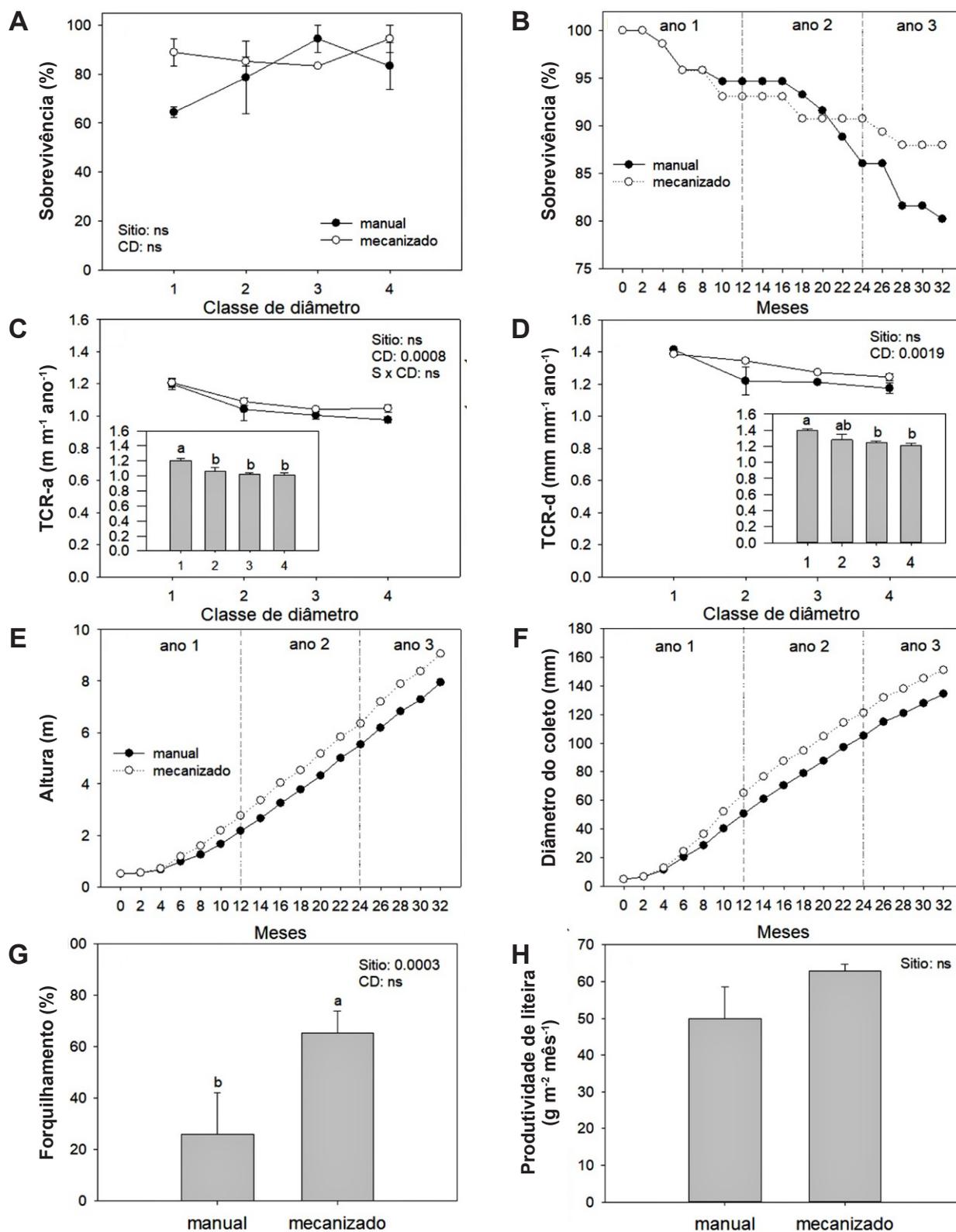


Figura 1. Média \pm erro padrão da sobrevivência acumulada (A) e das variações mensais de sobrevivência (B); taxas de crescimento relativo em altura (TCR-a) (C) e diâmetro do coleto (TCR-d) (D); crescimento acumulado em altura (E) e diâmetro (F); padrão do forquilhamento (G) e produtividade de liteira (H), ao longo de 32 meses após o plantio, para as quatro classes de diâmetro (CD) de *Tachigali vulgaris* em sítios submetidos ao preparo manual e mecanizado ($n = 3$).

Legenda: ns = não significativo, $P > 0,05$; letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas para os efeitos principais de acordo com Teste Tukey ou Test T não pareado, $P < 0,05$.

Manejo de plantações florestais: efeitos de tratamentos silviculturais no crescimento de *Tachigali vulgaris*

Um dos principais elementos na tomada de decisão para a implantação de plantios florestais é a análise do espaçamento ótimo de plantio. Isso decorre de a variação na densidade de árvores de um povoamento florestal influenciar na taxa de crescimento, qualidade da madeira, idade de corte e aspectos econômicos do investimento (Magalhães, et al., 2012).

De acordo com Oliveira Neto et al. (2003), nos espaçamentos amplos, a produção de matéria seca da parte aérea e, em especial, da madeira, por árvore, é elevada em razão de seu maior crescimento em diâmetro. Enquanto, nos espaçamentos reduzidos, ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um maior número de indivíduos.

O crescimento em diâmetro é uma característica altamente dependente dos espaçamentos (Coelho et al., 1970). Existe alguma controvérsia sobre o crescimento em altura das árvores quanto aos reflexos do espaçamento. No plantio de *E. grandis* com a redução do espaçamento de 3 m x 2 m para 3 m x 1 m, Pereira et al. (2006) verificaram uma tendência de maior crescimento em altura, justificando o resultado em razão da competição por luz, o que estimularia o crescimento em altura das plantas.

Em estudos realizados no município de Manaus, AM, Souza et al. (2008) testando 25 espécies florestais nativas e exóticas em plantios puros, no espaçamento 3 m x 2 m, em Latossolo amarelo com baixos pH e CTC, constataram que *T. vulgaris* se destacou entre as espécies com melhor desempenho, atingindo valores médios de 22,4 cm para DAP, 16,5 m de altura e 42,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para incremento médio anual de volume de madeira, valores estes comparáveis aos obtidos pelas espécies de melhor desempenho no experimento, tais como clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e pelo paricá (*Schizolobium amazonicum*), que foi a espécie nativa que apresentou o maior crescimento, aos quatro anos de idade.

A maioria das espécies florestais é considerada pouco exigente em fósforo quando comparada com culturas anuais. Esse fato tem sido atribuído ao extenso sistema radicular das árvores, que exploram grandes volumes de solo e à possível habilidade dessas plantas em utilizarem formas menos solúveis de fósforo. Contudo, em solos tropicais, o nível de fósforo é tão baixo que a planta é incapaz de manter uma taxa elevada de crescimento ao longo da rotação, se o nutriente não for aplicado ao solo (Barros; Novais, 1990).

Lima (2004), estudando a influência dos fatores de sítio no crescimento do *T. vulgaris*, concluiu que o maior crescimento em altura da espécie está relacionado com o aumento dos teores de fósforo e sódio. Os menores valores da relação ferro/fósforo estão associados com os sítios que apresentaram maior crescimento em altura.

A seguir são apresentados os resultados de um experimento onde se procurou identificar o efeito do espaçamento e dos níveis de adubação com fósforo no crescimento em altura, DAP, volume, biomassa e taxa de mortalidade.

A área de estudo se situa no município de Itacoatiara, AM, km 201 da Rodovia Estadual AM-010, entre as coordenadas 2° 56'20" S e 58° 55'42" W, no imóvel denominado Fazenda Nova Esperança II, de propriedade da Empresa Amaggi Exportação e Importação Ltda.

O solo da região está classificado no grupo dos Latossolos Amarelos Distróficos de textura média argilosa. O solo predominante na propriedade é o Distrófico, principalmente solos do tipo Oxissolos (Latossolo Amarelo/Argiloso), que apresenta potencialidade química natural reduzida, evidenciada pela baixa soma de bases trocáveis, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e elevada saturação de alumínio em cerca de 70% e baixos teores de cálcio (Ca)+ magnésio (Mg).

Foi instalado um total de 45 parcelas, com área unitária variando conforme o espaçamento adotado: 2 m x 2 m (112 m²), 3 m x 2 m (168 m²) e 4 m x 2 m (224 m²). O experimento ocupou uma área total de 0,9 ha. A adubação com superfosfato triplo, foi aplicada a lanço após 21 dias de plantio em cinco tratamentos, na forma de superfosfato triplo (P₂O₅) com 45% de P nas dosagens (D) de D1 - 0 kg ha⁻¹, D2 - 30 kg ha⁻¹, D3 - 60 kg ha⁻¹, D4 - 90 kg ha⁻¹ e D5 - 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Para estimativa do volume de madeira, foram abatidas 180 árvores, quatro árvores por parcela das dez árvores úteis, aplicando-se o método de Smalian, o diâmetro da ponta mais fina foi 3 cm (Scolforo, 1998). Após a cubagem, as árvores de *T. vulgaris* foram compartimentadas em troncos, galhos e folhas e depois pesadas para a determinação do peso fresco total. Dos compartimentos folhas e galhos, retirou-se amostras de 400 g; do fuste, as amostras foram compostas por discos seccionados a 0% (base), 50% (meio do fuste) e 100% de altura (ápice). As amostras foram secas em estufa com temperatura entre 100-105 °C, por um período mínimo de 72 horas, até atingir peso constante. Calculou-se o teor de água e a biomassa seca. Foram ajustadas as seguintes equações alométricas, conforme apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Equações alométricas para ajuste de biomassa da espécie *Tachigali vulgaris* acima do solo.

Número	Equação	Autor
1	$Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2$	Kopezky - Gehrhardt
2	$Ps = \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Dissescu - Meyer
3	$Ps = \beta_0 d^{\beta_1}$	Berkhout
4	$\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	Husch
5	$Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	Spurr
6	$Ps = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$	Schumacher e Hall
7	$\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h)$	Spurr
8	$Ps = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$	Ogaya

Legenda: d (cm) = Diâmetro a 1,30 m de altura do solo; h (m) = Altura comercial; Ps (kg) = Biomassa seca; Ln = Logaritmo neperiano; β_0 , β_1 , β_2 = Coeficientes de regressão.

Na seleção dos melhores modelos para estimativa da biomassa, adotaram-se os seguintes critérios:

- Análise das medidas de precisão (R^2_{ajust} e Syx%).
- Análise da significância dos coeficientes das equações.
- Distribuição gráfica dos resíduos.

No estudo da regressão dos níveis da dosagem de fósforo para os espaçamentos 2 m x 2 m, 3 m x 2 m e 4 m x 2 m, verificou-se que houve regressão ($P < 0,05$) somente das dosagens no espaçamento 2 m x 2 m, cujo efeito é explicado pelo modelo de regressão quadrática, como mostra a Figura 2. Ao derivar a equação de regressão, observou-se que a melhor dosagem a ser aplicada é 60,07 g de fósforo, o que resultará em uma produção máxima de 149,72 m³ ha⁻¹ para o espaçamento 2 m x 2 m.

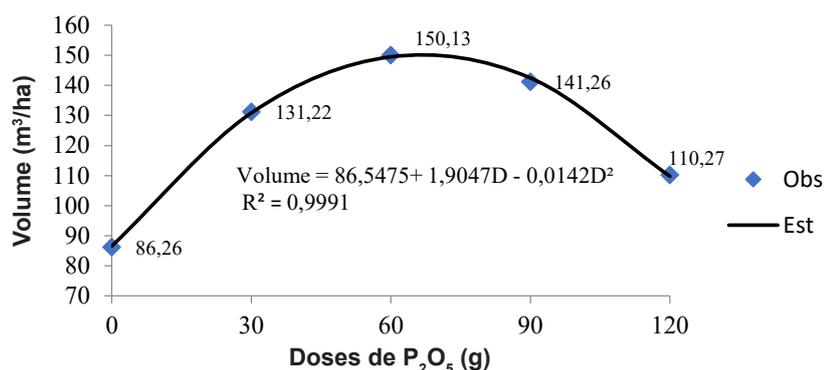


Figura 2. Regressão do volume de madeira de *Tachigali vulgaris* em função das doses de fósforo (D) para o espaçamento 2 m x 2 m.

Ao analisar os valores de biomassa dos compartimentos do plantio de *T. vulgaris*, observou-se que o fuste concentra mais biomassa com o valor de 25,64 kg árvore⁻¹, galho com 12,32 kg árvore⁻¹ e folha com apenas 2,13 kg árvore⁻¹. O maior percentual de água se encontra armazenado nas folhas com média de 50,59%, fuste com 43,65% e o menor percentual se encontra no galho com 43,55% (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão de biomassa seca e teor de água, obtidos para cada compartimento do plantio de *T. vulgaris*, aos cinco anos de idade.

Compartimento	Biomassa (kg)	Teor de água (%)
Folhas	2,13 ± 1,38	50,59 ± 8,61
Galhos	12,32 ± 8,03	43,55 ± 6,75
Fuste	25,64 ± 14,74	43,65 ± 4,46

Esses resultados concordam com aqueles apresentados por Souza e Lima (2012), onde as análises feitas com o tachi-branco para produção de energia, no espaçamento de 3 m x 2 m (13 anos) e 3 m x 4 m (11 anos), indicaram que o fuste foi o que mais armazenou biomassa (188,34 kg com teor de água de 41%), folha (8,13 kg com 43,1% de teor de água) e galho (22,69 kg com 43,1% de teor de água).

Na produção de biomassa, observou-se que a média ficou em 40,09 kg árvore⁻¹ para *T. vulgaris* (Tabela 3). Higa et al. (2012) observaram o valor de 145,14 kg de biomassa em plantios de tachi-branco aos 9 anos. Xaud et al. (2006) estudando a mesma espécie, reportaram valores médios de 33,3 kg de biomassa árvore⁻¹, aos seis anos de idade, no espaçamento de 3 m x 4 m. Os maiores valores de biomassa por árvore foram observados nos espaçamentos maiores (3 m x 2 m e 4 m x 2 m), quando comparados com os espaçamentos menores (2 m x 2 m), em razão da maior competição entre plantas em densidades populacionais mais baixas.

A distribuição de biomassa nos componentes da árvore foi alterada com a adubação e o espaçamento. A biomassa média de madeira, nos níveis 0 g, 30 g, 60g, 90 g e 120 g de adubação com fósforo, correspondeu a 11%, 22%, 27%, 23% e 17% da biomassa total, respectivamente no espaçamento 2 m x 2 m; a 15%, 19%, 22%, 23% e 21% no espaçamento 3 m x 2 m e de 16%, 14%, 20%, 28% e 22% da biomassa total no espaçamento 4 m x 2 m, para *T. vulgaris*.

Tabela 3. Valores de média, mediana, máxima, mínima e desvio padrão de biomassa do plantio de *Tachigali vulgaris*, aos cinco anos de idade, no município de Itacoatiara, AM.

Parâmetros	Biomassa total (kg árvore ⁻¹)
Média	40,09
Mediana	36,95
Máxima	132,58
Mínima	2,20
Desvio padrão	23,12

O efeito principal do espaçamento não foi significativo ($P > 0,05$), entretanto houve diferença para os níveis de dosagem de fósforo ($p = 0,0022$). Constatou-se que a maior produção de biomassa foi obtida ao adubar o plantio com 90 g (85,56 Mg ha⁻¹) e 60 g (81,96 Mg ha⁻¹) de fósforo, não diferindo estatisticamente das doses de 120 g e 30 g de fósforo pelo teste de Tukey.

No estudo da regressão dos níveis de dosagem de fósforo para os espaçamentos 2 m x 2 m, 3 m x 2 m e 4 m x 2 m, verificou-se que houve regressão ($p < 0,05$) das dosagens somente com o espaçamento 2 m x 2 m, explicado pela regressão quadrática (Figura 3). Ao se derivar a equação de regressão, observou-se que a melhor dosagem a ser aplicada é 66,45 g de fósforo, o que resultará em uma produção máxima de 110,16 Mg ha⁻¹ para o espaçamento 2 m x 2 m. Observa-se que as dosagens de fósforo apresentam a produção de biomassa mais elevada após a aplicação de 30 g de fósforo, tendendo a estabilizar a partir da aplicação de 60 g de fósforo, apresentando uma tendência de decréscimo após este valor.

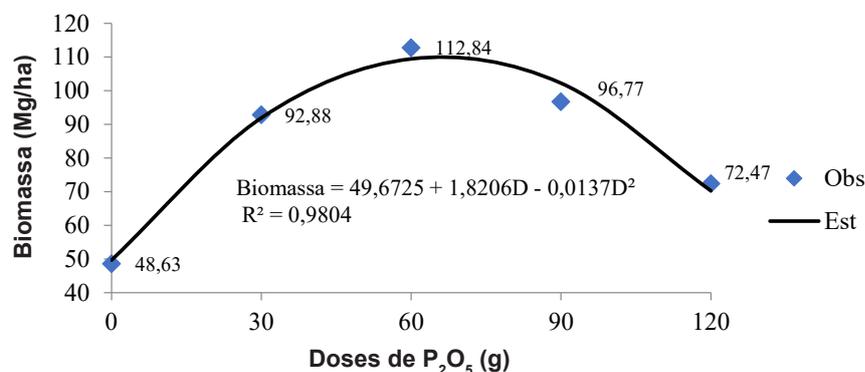


Figura 3. Regressão de biomassa de *Tachigali vulgaris* em função das doses de fósforo, no espaçamento 2 m x 2 m.

Legenda: Mg = megagrama (1Mg = 10⁶g) e D = Doses de P₂O₅ (g).

Entre os modelos avaliados para estimar a biomassa de *T. vulgaris*, o modelo de Dissescu-Meyer (Modelo 2) foi o que melhor se ajustou aos resultados e, também, apresentou a melhor distribuição dos resíduos, com apenas uma variável independente. Os resíduos do modelo de Dissescu e Meyer ficaram mais homoganeamente distribuídos e com menor amplitude que os demais modelos, apresentado R²ajustado de 94,28% e Syx de 11,13% (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros dos modelos polinomiais ajustados e medidas de precisão para estimar biomassa acima do solo de *Tachigali vulgaris*, aos cinco anos de idade, Itacoatiara, AM.

Número	Equação	Coeficientes			F	R ² ajustado (%)	Syx (%)
		β_0	β_1	β_2			
1	$Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2$	-39,543800	8,363400	-	512,10*	75,37	11,54
2	$Ps = \beta_0 d + \beta_1 d^2$	-0,091850	0,424990	-	1.385,02*	94,28	11,13
3	$Ps = \beta_0 d^{\beta_1}$	0,401930	2,014900	-	2.229,00*	77,23	11,13
4	$\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln d$	-0,969210	2,024420	-	697,10*	80,65	0,26
5	$Ps = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	7,656690	0,026922	-	586,31*	77,80	10,96
6	$Ps = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2}$	0,144630	1,661320	0,73513	6.522,07*	78,57	10,83
7	$\ln Ps = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2 h)$	-1,984800	0,799100	-	677,51*	80,20	0,26
8	$Ps = d^2 (\beta_0 + \beta_1 h)$	0,286945	0,009914	-	2.586,07*	77,84	10,98

Legenda: Ps = biomassa seca; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; Ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro à altura do peito; h = altura total; R²ajustado = coeficiente de determinação ajustado e Syx = erro padrão da estimativa e * = significativo a 5% pelo teste F.

Os resultados experimentais indicaram que a produção de biomassa para *T. vulgaris* nas dosagens 0 g, 30 g, 60 g, 90 g e 120 g de P₂O₅ foram iguais sob os espaçamentos 2 m x 2 m e 3 m x 2 m. Para as dosagens 90 g e 120 g, a produção de biomassa foi superior às demais quando cultivada sob espaçamento 4 m x 2 m. Para a dosagem 60 g, a biomassa produzida sob os espaçamentos 3 m x 3 m e 4 m x 2 m não diferiram entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância. Para os espaçamentos 2 m x 2 m e 3 m x 2 m, a dosagem 60 g superou às demais em produção de biomassa. A espécie apresenta alto potencial para estocagem de biomassa, onde pode ser indicada para plantios em áreas degradadas.

Ao se considerar todos os espaçamentos, o modelo que melhor se ajustou aos dados de biomassa, em função da dosagem, foi “Biomassa = 46,6273 + 0,9839DAP - 0,0065DAP²” R² = 0,9676, com ponto de máxima P = (75,68 g, 86,83 Mg ha⁻¹). Só houve regressão para biomassa no espaçamento 2 m x 2 m, “Biomassa = 49,6725 + 1,8226DAP - 0,0137DAP²” R² = 0,9804, com ponto de máxima produção de biomassa P = (66,45 g, 110,16 Mg ha⁻¹).

Considerações finais

Diante da necessidade iminente de promover a geração de fontes alternativas de energia limpa e renovável, a expansão de plantações florestais de *Tachigali vulgaris* para a produção de bioenergia deverá ganhar significativo impulso nos próximos anos. Neste contexto, a produtividade e a qualidade dos projetos de reflorestamento desta espécie dependerão sobremaneira da aplicação de protocolos silviculturais baseados em ciência. Essas iniciativas serão importantes para ampliar as áreas de plantações industriais com espécies florestais nativas e estimular a geração de renda a partir do melhor aproveitamento das paisagens alteradas e degradadas da região Amazônica.

Agradecimentos e fontes de financiamento

Agradecimentos à Universidade Federal do Amazonas (Ufam) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Ocidental) pela infraestrutura, serviços e logística que suportaram as pesquisas laboratoriais e de campo. À equipe do Laboratório de Silvicultura da Ufam pelo apoio nas atividades experimentais. Ao Dr. Raymundo Leite da Silva Júnior pelo auxílio na implantação do experimento. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de doutorado e iniciação científica aos estudantes. Marciel José Ferreira agradece à bolsa de produtividade concedida pelo CNPq (processo 309870/2020-8).

Referências

AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R. do; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000600008>.

AKINCI, I.; ÇAKIR, E.; TOPAKCI, M.; CANAKCI, M.; ONALINAN. The effect of subsoiling on soil resistance and cotton yield. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 2, p. 203-210, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.12.006>.

BARBOSA, A. P.; CAMPOS, M. A. A.; SAMPAIO, P. de T. B.; NAKAMURA, S.; GONÇALVES, C. de Q. B. O Crescimento de duas espécies florestais pioneiras, pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Sw.) e caroba (*Jacaranda copaia* D. Don), usadas para recuperação de áreas degradadas pela agricultura na Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 33, p. 447-482, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672003000300012>.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo – eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990.

BAYALA, J.; DIANDA, M.; WILSON, J.; OUÉDRAOGO, S. J.; SANON, K. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. **New Forests**, v. 38, n. 3, p. 309-322, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9149-4>.

BUDIMAN, D.; SUDRAJAT, D. J.; LEE, D. K.; KIM, Y. S. Effect of initial morphology on field performance in white jabor seedlings at Bogor, Indonesia. **Forest Science and Technology**, v. 11, n. 4, p. 206-211, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1007897>.

CAVICHIOLO, S. R.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 571-577, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000400009>.

COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, v. 2, n. 50, p. 129-149, 1970.

COLL, L.; POTVIN, C.; MESSIER, C.; DELAGRANGE, S. Root architecture and allocation patterns of eight native tropical species with different successional status used in open-grown mixed plantations in Panama. **Trees**, v. 22, n. 4, p. 585-596, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0219-6>.

DAVIS, A. S.; PINTO, J. R. The scientific basis of the target plant concept: An overview. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1293, 2021. DOI: https://www.fs.fed.us/rm/pubs_journals/2021/rmrs_2021_davis_a001.pdf.

DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; SIMON, A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 17, n. 3, p. 205-215, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981952>.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L. ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v43i3.26809>.

FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; SCHNEIDER, P. R.; HOPPE, J. M. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 6, n. 1, p. 137-145, 1996. DOI: <https://doi.org/10.5902/19805098332>.

FREITAS, G. A. de; MELO, A. V. de; PEREIRA, M. A. B.; ANDRADE, C. A. O. de; LUCENA, G. N.; SILVA, R. R. da. Influência do sombreamento na qualidade de mudas de *Sclerolobium paniculatum* Vogel para recuperação de área degradada. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 5-12, 2012. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n3.freitas>.

GALLEGOS-CEDILLO, V. M.; DIANÉZ, F.; NAJÉRA, C.; SANTOS, M. Plant agronomic features can predict quality and field performance: A bibliometric analysis. **Agronomy**, v. 11, n. 11, 2305, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, p. 655-664, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>.

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. **New forests**, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>

GROSSNICKLE, S. C.; MACDONALD, J. E. Seedling quality: history, application, and plant attributes. **Forests**, v. 9, n. 5, p. 283, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9050283>.

HAASE, D. L. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: RILEY, L. E.; DUMROESE, R. K.; LANDIS, T. D. **National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2006**. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2007, v. 50. p. 3-8. Disponível em: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p050/rmrs_p050_003_008.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

HIGA, R. C. V.; XAUD, H. A. M.; LIMA, R.; ACCIOLY, L. O. Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e Caatinga. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p.105-158.

HOCH, L.; POKORNY, B.; JONG, W. de. How successful is tree growing for smallholders in the Amazon? **International Forestry Review**, v. 11, n. 3, p. 299-310, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1505/ifor.11.3.299>.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto Terra Class 2014**. 2016. Disponível em: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso em: 20 out. 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraBrasilis**, PRODES, 2022. Disponível em: http://terra brasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. Acesso em: 20 out. 2022.

IVETIĆ, V.; GROSSNICKLE, S.; ŠKORIĆ, M. Forecasting the field performance of Austrian pine seedlings using morphological attributes. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 10, n. 1, 99, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor1722-009>.

JACOBS, D. F.; SALIFU, K. F.; SEIFERT, J. R. Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. **New Forests**, v. 30, n. 2, p. 235-251, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-005-5419-y>.

LANDIS, T. D. The target plant concept-a history and brief overview. In: RILEY, L. E.; HAASE, D. L.; PINTO, J. R. (ed.). **National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2010**. Fort Collins, CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2011, v. 65. p. 61-66. Disponível em: https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p065/rmrs_p065_061_066.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

LIMA, R. M. B. de. **Crescimento do *Sclerolobium paniculatum* Vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. 2004. 194 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LÖF, M.; DEY, D. C.; NAVARRO, R. M.; JACOBS, D. F. Mechanical site preparation for forest restoration. **New Forests**, v. 43, n. 5, p. 825-848, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9332-x>.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIM, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; YOSHITANI JUNIOR, M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 1-7, 2012. Disponível em: <https://www.floram.org/article/588e220ee710ab87018b4625/pdf/floram-12-2-1.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

- MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 129-140, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/32763/24815>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MARTÍNEZ-GARZA, C.; TOBON, W.; CAMPO, H.; HOWE, H. F. Drought mortality of tree seedlings in an eroded tropical pasture. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 3, p. 287-295, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.1127>.
- MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-OnLine.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MATTSON, A. Predicting field performance using seedling quality assessment. **New Forests**, v. 13, n. 1, p. 227-252, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006590409595>.
- MELO, L. A.; ABREU, A. H. M. de; LELES, P. S. dos S.; OLIVEIRA, R. R. de; SILVA, D. T. da. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 47-55, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831574>.
- MOCHIUTTI, S.; MELÉM JUNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T. de; QUEIROZ, J. A. L. de. **Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*):** leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. Macapá: Embrapa Amapá, 1999. 5 p. (Embrapa Amapá. Comunicado técnico, 28). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35266/1/taxi-branco-CT.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. de; MELÉM JÚNIOR, N. J. Produção de serrapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de taxi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 52, p. 3-20, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AP/11333/1/BPF_52_p3-20.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.
- NUNES, S.; GASTAUER, M.; CAVALCANTE, R. B. L.; RAMOS, S. J.; CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SILVA, D.; RODRIGUES, R. R.; SALOMÃO, R.; OLIVEIRA, M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SIQUEIRA, J. O. Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species. **Forest Ecology and Management**, v. 466, 118120, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118120>.
- OLIVEIRA NETO, S. N. de; REIS, M. das G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100003>.
- PALACIOS, G.; CERRILLO, R. M. N.; CAMPO, A. del.; TORAL, M. Site preparation, stock quality and planting date effect on early establishment of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings. **Ecological engineering**, v. 35, n. 1, p. 38-46, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.006>.
- PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R. da; SOUZA, R. A. de; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n4p518-531>.
- QUEREJETA, J. I.; ROLDÁN, A.; ALBADEJO, J.; CASTILLO, V. Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semiarid climate. **Forest Ecology and Management**, v. 149, n. 1-3, p. 115-128, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00549-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00549-1).
- ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, D.; BATISTA, A.; FREITAS, M. L. M.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ZAKIA, M. J. B.; CALMON, M. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil, 2020. 44 p. Disponível em: https://wribrasil.org.br/sites/default/files/af_wri_workingpaper_researchgapsinsilviculture_portugues_web.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.
- RUBILAR, R. A.; ALLEN, H. L.; FOX, T. R.; COOK, R. L.; ALBAUGH, T. J.; CAMPOE, O. C. Advances in silviculture of intensively managed plantations. **Current Forestry Reports**, v. 4, n. 1, p. 23-34, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0072-9>
- SALOMÃO, R. de P.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 1-24, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100001>.
- SANTOS, K. F. dos; REICHERT, J. M. Best tillage practices for eucalyptus growth and productivity: A review on the Brazilian experience. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210091, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210091>.

SCOLFORO, J. R. **Biometria florestal 1**: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310 p.

SOUTH, D. B.; ROSE, R. W.; MCNABB, K. L. Nursery and site preparation interaction research in the United States. **New Forests**, v. 22, n. 1, p. 43-58, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012079014625>.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B. de; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176297/1/cap01.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SOUZA, L. A.; LIMA, R. M. B. de. Avaliação da adaptabilidade e produtividade de plantios de taxi-branco (*Sclerobium paniculatum*) na região de Manaus e Iranduba, Amazonas. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 9., 2012, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. p. 69-77. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 100). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/949645/1/IXJornadataxi.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

TSAKALDIMI, M. N.; GANATSAS, P. P. Effect of chemical root pruning on stem growth, root morphology and field performance of the Mediterranean pine *Pinus halepensis* Mill. **Scientia Horticulturae**, v. 109, n. 2, p. 183-189, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.007>.

TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P.; JACOBS, D. F. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New Forests**, v. 44, n. 3, p. 327-339, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>.

VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E.; RUBIRA, J. P. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. **Forest Ecology and Management**, v. 196, n. 2-3, p. 257-266, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.061>.

WALTERS, B. B.; SABOGAL, C.; SNOOK, L. K.; ALMEIDA, E. de. Constraints and opportunities for better silvicultural practice in tropical forestry: an interdisciplinary approach. **Forest Ecology and Management**, v. 209, n. 1-2, p. 3-18, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.003>.

WILSON, B. C.; JACOBS, D. F. Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. **New Forests**, v. 31, n. 3, p. 417-433, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-005-0878-8>.

XAUD, H. A. M.; TONINI, H.; LOUREIRO, E. B.; PAOLINETI, V. W.; RAMALHO, M. **Biomassa aérea de espécies arbóreas em plantios experimentais em área de floresta de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006. 8 p. (Embrapa Roraima. Comunicado técnico, 24). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/691050/1/cot242006biomassaharon.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

ZIDA, D.; TIGABU, M.; SAWADOGO, L.; ODÉN, P. C. Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 7, p. 2151-2162, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.029>.

Bloco 3

Perspectivas futuras das pesquisas com qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris*

Anatomia da madeira de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima

Claudia Franca Barros
Tahysa Mota Macedo
Haroldo Cavalcante de Lima

Introdução

O gênero *Tachigali* Aubl. vem sendo estudado sob uma perspectiva multidisciplinar há mais de dez anos, por um grupo de pesquisadores do Instituto de Pesquisas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro e da Universidade Federal da Bahia. Tais pesquisas, até o momento, produziram artigos científicos, além de três dissertações de mestrado e uma tese de doutorado (Silva; Lima, 2007; Macedo et al., 2014; Huamantupa-Chuquimaco, 2020). Esse gênero compreende cerca de 90 espécies arbóreas distribuídas entre o México e o Brasil, cuja taxonomia é bastante complexa e com controvérsias relacionadas com a sua circunscrição. A literatura se refere aos gêneros *Arapatiella* Rizzini & A. Mattos (com duas espécies descritas para o Brasil) e *Jacqueshuberia* Ducke (com três espécies descritas para o Brasil) como próximos de *Tachigali* (Rizzini; Mattos, 1972; Huamantupa-Chuquimaco, 2020). *Tachigali vulgaris* é uma espécie muito variável, de ampla distribuição na Amazônia, Cerrado e Caatinga (Silva; Lima, 2007; Huamantupa-Chuquimaco, 2020; Huamantupa-Chuquimaco et al., 2020).

A anatomia da madeira tem grande importância para a cadeia produtiva da madeira, uma vez que é uma das poucas possibilidades de identificação botânica quando as amostras não possuem material reprodutivo. Trata-se de uma técnica de identificação bem estabelecida e de baixo custo, além de possuir bases de dados amplas no que se refere às madeiras comerciais brasileiras e muitas chaves de identificação online (Serviço Florestal Brasileiro - Banco de dados de madeiras brasileiras: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/madeiras-brasileiras>, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Informações sobre madeiras: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=77 e Universidade Federal Fluminense - Laboratório de Anatomia da Madeira e Dendrocronologia: <http://gbg.sites.uff.br/lamad/>).

Anatomicamente o gênero *Tachigali* é pouco estudado e a maioria dos artigos trata de poucas espécies (Rizzini; Mattos, 1972; Bareta-Kuipers, 1981; Loureiro et al., 1983; Pires; Marcati, 2005; Reis et al., 2011, Macedo et al., 2014; Casanova et al., 2020). Para uma melhor compreensão da circunscrição do gênero seria necessário ampliar o número de espécies descritas e a realização de trabalhos comparativos envolvendo aspectos anatômicos das folhas, flores e madeira.

Durante o “I Workshop Online Florestas de *Tachigali vulgaris*”, os resultados referentes à dissertação de mestrado intitulada “Anatomia do lenho de espécies de *Tachigali* Aublet (Leguminosae-Caesalpinioideae)” de Tahysa Mota Macedo e publicados em Macedo et al. (2014) foram apresentados. A apresentação visou caracterizar a anatomia da madeira de *T. vulgaris*, destacando seus caracteres diagnósticos e as principais contribuições da anatomia da madeira para o conhecimento do gênero. Além disso, foram detalhadas as principais lacunas do conhecimento anatômico e pers-

pectivas para a continuidade das pesquisas, muito importantes para a avaliação da qualidade da madeira e suas variações em condições naturais e de plantio.

Anatomia da madeira

A apresentação foi focada nos principais resultados do trabalho publicado (Macedo et al., 2014), destacando-se os caracteres diferenciais entre *Arapatiela* e *Tachigali*, a descrição detalhada de *T. vulgaris* e a comparação anatômica dessa espécie com as demais seis espécies descritas (Tabela 1). Uma breve descrição de *Jacqueshuberia purpurea* Ducke também foi incluída.

Tabela 1. Espécies pertencentes ao gênero *Tachigali* descritas anatomicamente, seus locais de coleta e número de registro na Xiloteca do Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Espécies	Local de coleta	RBw
<i>Tachigali denudata</i>	Floresta da Tijuca (Rio de Janeiro)	3274, 8763, 8764, 8765
	Parque Nacional das Fontes do Ipiranga (São Paulo)	9115
<i>Tachigali duckei</i>	Parque Nacional de Itatiaia (Rio de Janeiro)	9056, 9057, 9058, 9059, 9060, 9061
<i>Tachigali glauca</i>	Floresta Nacional do Tapajós (Pará)	6658, 9116, 9117
<i>Tachigali paratyensis</i>	Arboreto do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)	36, 3003, 5205, 9051
<i>Tachigali pilgeriana</i>	Arboreto do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro)	9052, 9123
	Serra de Paranapiacaba (São Paulo)	9118
<i>Tachigali rugosa</i>	Parque Nacional de Itatiaia (Rio de Janeiro)	9053, 9054, 9055
<i>Tachigali vulgaris</i>	Paracatu (Minas Gerais)	4996
	Santarém (Pará)	374, 2374, 9120, 9121, 9122
	Caxias (Maranhão)	6107
	Tocantins	9119

Legenda: RBw: Número de identificação do espécime na Xiloteca do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

Fonte: Macedo et al. (2014).

As coletas foram efetuadas por método não destrutivo e as amostras foram depositadas na Xiloteca do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (RBw) e processadas no Laboratório de Botânica Estrutural da referida instituição. Foram preparados corpos de prova, posteriormente seccionados no micrótomo de deslizamento, com espessura entre 14-20 μm , nos planos transversal e longitudinal (radial e tangencial), segundo Burger e Richter (1991). Após clarificação e desidratação, as secções foram coradas com safranina e azul de astra e montadas com resina sintética (Johansen, 1940; Sass, 1958; Burger; Richter, 1991). Para mensuração e descrição dos elementos celulares foi feita a dissociação com uso de solução de Jeffrey (Johansen, 1940). O material foi corado com safranina aquosa a 1% e montado em lâminas semipermanentes com glicerina 50% (Strasburger, 1924). As lâminas obtidas também foram incorporadas ao acervo da Xiloteca do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, tendo sido descritas e mensuradas de acordo com as recomendações do IAWA Committee (1989). Para as mensurações e descrições foi utilizado o microscópio Olympus BX50.

T. vulgaris apresenta camadas de crescimento distintas, demarcadas pelo espessamento e achatamento das fibras no lenho tardio e porosidade difusa. Os elementos de vaso são solitários ou em múltiplos radiais de 2-4 elementos, comprimento médio 398 μm , diâmetro médio 189 μm , espessura média da parede 4,3 μm e frequência média de 6 mm^{-2} . Apresentam placas de perfuração simples, pontoações intervasculares médias, alternas e guarnecidas de formato poligonal. As pontoações raio-vasculares e parênquima-vasculares são semelhantes às intervasculares em forma e tamanho. As fibras possuem pontoações simples, paredes finas a espessas e comprimento médio 972 μm . Foi observado dimorfismo das fibras, com ocorrência de faixas de fibras semelhantes a parênquima. O parênquima axial é escasso, ocasionalmente vasicêntrico, seriado com 2-4 células de altura. Cristais prismáticos em câmaras foram observados no parênquima axial. Os raios unisseriados são homocelulares em sua maioria, integrados por células procumbentes ou heterocelulares integrados por células procumbentes na porção central e uma fileira de células quadradas nas margens, frequência média de 10 mm^{-1} , altura de 182 μm . Corpos silicosos foram observados nas células do raio. São características diagnósticas para a espécie: o dimorfismo de fibras com a ocorrência de faixas onduladas de fibras de paredes mais finas intercaladas por faixas de fibras de paredes mais espessas, o parênquima axial paratraqueal escasso e os corpos silicosos (Figura 1).

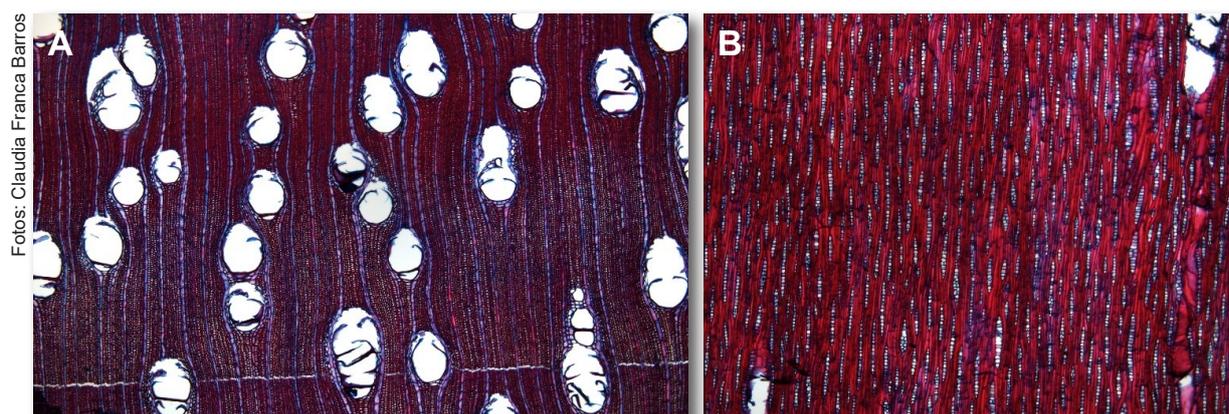


Figura 1. Anatomia da madeira da espécie *Tachigali vulgaris*: seção transversal (A) e seção longitudinal tangencial (B).

Observação: Barra = 300 μm .

O estudo das sete espécies do gênero *Tachigali* demonstrou que a anatomia da madeira é semelhante entre as espécies e que o dimorfismo de fibras é um bom caracter diagnóstico para sua identificação, associado aos tipos de parênquima axial. As espécies de *Tachigali* se individualizaram pelo arranjo das fibras semelhante a parênquima. As espécies *T. rugosa* e *T. duckei* se caracterizam por faixas de fibras semelhantes a parênquima em faixas tangenciais, intercaladas com faixas de fibras de paredes espessas, enquanto em *T. glauca*, *T. paratyensis*, *T. vulgaris*, *T. denudata* e *T. pilgeriana*, as faixas de fibras semelhantes a parênquima são onduladas.

A anatomia da madeira das espécies de *Tachigali* estudadas se difere bastante de *Arapatiella trepocarpa* Rizzini & A. Mattos. *Arapatiella trepocarpa* apresenta pontoações intervasculares ovais e diminutas; parênquima paratraqueal confluyente e raios exclusivamente homogêneos, enquanto as espécies de *Tachigali* possuem pontoações intervasculares poligonais e nunca diminutas, parênquima axial paratraqueal escasso e vasicêntrico, nunca confluyente, fibras semelhantes a parênquima e raios homogêneos e, ou heterogêneos integrados por células procumbentes na porção central e uma fileira de células quadradas nas margens.

Para a complementação do trabalho publicado em 2014 (Macedo et al., 2014), foi realizada a descrição preliminar de uma das espécies do gênero *Jacqueshuberia*, *Jacqueshuberia purpurea* Ducke. A anatomia da madeira desse gênero é semelhante àquela das espécies de *Tachigali*, principalmente pela ocorrência de dimorfismo de fibras, com faixas onduladas de fibras semelhantes a parênquima intercaladas com fibras de paredes mais espessas (Figura 2). Entretanto, tais faixas são mais estreitas do que as observadas em *Tachigali*. Essa observação é inédita, uma vez que não se conhece descrição anatômica para *Jacqueshuberia*.

Fotos: Claudia Franca Barros



Figura 2. Seções transversais das madeiras das espécies: *Arapatiella trepocarpa* (A), *Tachigali vulgaris* (B) e *Jacqueshuberia purpurea* (C).

Observação: Barra = 300 µm. Note o parênquima em faixas em A e a ocorrência de fibras semelhantes a parênquima em B e C.

A principal lacuna do conhecimento do gênero é o reduzido número de espécies descritas quanto à sua estrutura anatômica. Como a anatomia da madeira é o principal instrumento de identificação das madeiras comercializadas, a falta de um estudo mais amplo prejudica a sua identificação. As espécies citadas na literatura como muito semelhantes à *T. vulgaris* são *T. peruviana* e *T. tinctoria*, entretanto não foram encontradas descrições anatômicas para a primeira. A segunda foi descrita por Reis et al. (2011) e a descrição apresentada pelos autores é muito semelhante àquela de *T. vulgaris*. Um estudo comparativo entre a anatomia da madeira dessas espécies é recomendado para uma melhor circunscrição das espécies e para excluir a possibilidade de comercialização das três espécies sob a denominação de tachi-branco.

Considerações finais

As principais recomendações para a condução de novas pesquisas, sob a perspectiva da anatomia da madeira, é a caracterização anatômica de *T. vulgaris* ao longo de sua área de ocorrência, bem como nas áreas de plantio para a verificação de variações estruturais que podem comprometer a qualidade da madeira. Além disso, para uma melhor compreensão da taxonomia e evolução do gênero seria necessário o estudo anatômico aprofundado dos gêneros próximos, bem como de um número maior de espécies de *Tachigali*.

Agradecimentos e fonte de financiamento

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) pelo financiamento da pesquisa.

Referências

- BARRETA-KUIPERS, T. Wood anatomy of Leguminosae: its relevance to taxonomy. In: POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. (ed.). **Advances legume systematics part 2**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1981. p 677-706.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CASANOVA, J. M.; CARDOSO, D.; BARROS, C. F.; LIMA, H. C. de; TONI, K. L. G. de. Floral morphology and development in *Tachigali* (Caesalpinioideae, Leguminosae), a predominantly rainforest tree genus with contrasting flower architectures. **Plant Systematics and Evolution**, v. 306, p. 17-27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12252>.
- HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I. **Filogenia de Tachigali (Leguminosae, Caesalpinioideae) e taxonomia das espécies da Região Amazônica**. 2020. 538 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; CARDOSO, D. B. O. S.; CARDOSO, L. J. T.; SANTANA, J. C. O.; SIMON, M. F.; COSTA, J. A. S.; LIMA, H. C. *Tachigali*. in: **FLORA do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23195>. Acesso em: 27 out. 2022.
- IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood Identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989. Disponível em: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- JOHANSEN, D. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1940. 523 p.
- LOUREIRO, A. A.; VASCONCELLOS, F. J.; FREITAS, J. A. Contribuição ao estudo anatômico do lenho de cinco espécies de *Sclerolobium* e cinco espécies de *Tachigalia* (Leguminosae) da Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 13, n. 1, p. 149-170, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921983131149>.
- MACEDO, T. M.; BARROS, C. F.; COSTA, C. G.; LIMA, H. C. Wood anatomy of seven species of *Tachigali* (Caesalpinioideae-Leguminosae). **IAWA Journal**, v. 35, n. 1, p. 19-30, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-00000044>.
- PIRES, I. P.; MARCATI, C. R. Anatomia e uso da madeira de duas variedades de *Sclerolobium paniculatum* Vog. do Sul do Maranhão, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 669-678, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000400002>.
- REIS, A. R. S.; REIS, P. C. M.; OLIVEIRA, A. T.; LISBOA, P. S. B. Anatomia do xilema secundário de sete espécies do gênero *Tachigali* Aubl. (Fabaceae), disponíveis na Xiloteca Walter A. Egler, do Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 6, n. 3, p. 319-333, 2011. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/pdf/bmpegc/v6n3/v6n3a07.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- RIZZINI, C. T.; MATOS, A. de M. Sobre *Arapatiella trepocarpa* N.G. & S. P. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 32, n. 3, p. 323-333, 1972.
- SASS, J. E. **Elements of botanical microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1958. 222 p.
- SILVA, L. F. G.; LIMA, H. C. Mudanças nomenclaturais no gênero *Tachigali* Aubl. (Leguminosae-Caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 397-401, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860200758214>.
- STRASBURGER, E. **Handbook of practical botany**. New York: Mac Millan Company, 1924. 254 p.

Dendrocronologia e densitometria de raios X aplicados na avaliação das propriedades do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*, na Amazônia

Larissa Gonçalves Moraes
Gabriel de Assis-Pereira
Thiago de Paula Protásio
Lina Bufalino
Delman de Almeida Gonçalves
Mario Tomazello-Filho

Introdução

A dendrocronologia, palavra oriunda do grego (*dendro*: árvore, *crono*: tempo e *logia*: estudo), pode ser definida como a ciência que propicia a construção de cronologias a partir dos anéis de crescimento das árvores (Fritts, 1976; Cook; Kiriukstis, 1989). As árvores funcionam como sensores ambientais, com os seus processos fisiológicos relacionados diretamente com as variáveis ambientais, registrados como anéis de crescimento de resolução anual e datáveis conforme os anos do calendário (Fritts, 1976; Tomazello Filho et al., 2001).

No último século, a construção de longas cronologias a partir de anéis de crescimento das árvores e, sua replicação no espaço, possibilitou importantes avanços das análises climáticas, antropológicas e ecológicas em biomas florestais de clima temperado. Destacam-se as reconstruções de períodos de seca (Cook et al., 1999; Herweijer et al., 2006; Stahle et al., 2016; Morales et al., 2020), regime e frequência dos pulsos de inundações fluviais (Ballesteros-Canovas et al., 2015; Ferrero et al., 2015) e da dinâmica ecológica (Brienen et al., 2010; Zhang, 2015). Os anéis de crescimento e a construção de séries cronológicas podem ser aplicados em inventários florestais, como a proposta inserida no Inventário Florestal Nacional Norte-americano (Evans et al., 2022).

Nos biomas tropicais, o primeiro relato de formação de anéis de crescimento anuais em árvores de *Tectona grandis* na Ásia ocorreu na segunda metade do século XIX (Brandis, 1860; 1879) embora, somente, a partir de 1960, foram apresentados os primeiros estudos sistemáticos em dendrocronologia tropical em El Salvador e na Costa Rica (Hastenrath, 1963; Tschinkel, 1966). O menor desenvolvimento da dendrocronologia nos trópicos se deve, em parte, pelo entendimento de que as árvores apresentavam crescimento contínuo e com ausência de anéis de crescimento anuais, em comparação com a dendrocronologia das espécies de clima temperado (Schöngart et al., 2017).

Na Amazônia central, os primeiros estudos dendrocronológicos foram realizados a partir de 1980, relacionando a periodicidade das chuvas e os pulsos de inundações dos rios como indutores da dormência cambial nos troncos das árvores e induzindo a formação dos anéis de crescimento anuais (Worbes, 2002; Schöngart et al., 2017). A dendrocronologia tropical evoluiu com novas pesquisas no âmbito da reconstrução climática dos biomas florestais da bacia Amazônica (Brienen et al., 2012; Granato-Souza et al., 2019, 2020) e com a aplicação de parâmetros de manejo florestal sustentado de árvores de espécies ocorrentes nas várzeas pelo método *Growth-Oriented Logging* (Gol) (Schöngart, 2008), definindo o ciclo de corte e o diâmetro do tronco mínimo das árvores. A

dendrocronologia se constitui, atualmente, em importante ferramenta na datação e na avaliação do crescimento anual do tronco das árvores das espécies longevas da Amazônia tropical, contribuindo para a complementação do monitoramento das árvores em parcelas permanentes, instaladas nas últimas décadas.

Além da aplicação da dendrocronologia em árvores de florestas tropicais naturais, existe uma ampla perspectiva na análise dos anéis de crescimento de árvores de plantações florestais na Amazônia brasileira, com o objetivo de avaliar o crescimento do tronco e a qualidade do lenho. Dentre as inúmeras espécies utilizadas em plantações florestais, destaca-se *Tachigali vulgaris*, tachi-branco, cuja madeira pode suprir a demanda de carvão vegetal no polo siderúrgico de Carajás, o segundo do Brasil, além da madeira para suprimento de lenha para uso doméstico e para o abastecimento de usinas de cogeração de energia da região Norte do Brasil (Ramos et al., 2021; Silva et al., 2021a; Barros et al., 2022).

Para a produção de carvão vegetal são importantes os parâmetros produtividade volumétrica do lenho do tronco das árvores das plantações florestais e, da mesma forma, as suas propriedades anatômicas, físicas e químicas (Silva et al., 2021b; Barros et al., 2022). Na avaliação da produtividade do lenho das árvores de *T. vulgaris* se utilizam os métodos de dendrocronologia, enquanto que, para a análise da qualidade do lenho, principalmente a densidade, aplica-se a densitometria de raios X. No presente trabalho são apresentados os resultados da aplicação da dendrocronologia e da densitometria de raios X em árvores de *T. vulgaris* de plantações florestais, obtendo-se as séries temporais dos anéis de crescimento e, na sequência, a determinação do incremento anual em diâmetro do tronco, da densidade do lenho dos anéis de crescimento anuais, permitindo obter os valores anuais de biomassa e carbono do lenho. As séries cronológicas dos anéis de crescimento foram relacionadas com as variáveis climáticas, possibilitando verificar o efeito dos eventos *El Niño* no crescimento e na biomassa do lenho do tronco das árvores de tachi-branco.

Dendrocronologia aplicada no manejo de árvores de *Tachigali vulgaris* na Amazônia

As árvores de *Tachigali vulgaris* e a dendrocronologia

As árvores de *T. vulgaris* têm ampla ocorrência natural, além das plantações, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Sul do Brasil e na floresta da Amazônia oriental peruana (Sousa et al., 2016), possibilitando a aplicação da dendrocronologia na avaliação das variáveis edafo-climáticas e o efeito no crescimento e desenvolvimento das árvores, nas propriedades do lenho, etc., incluindo a compreensão da vulnerabilidade dos domínios florestais tropicais frente às mudanças climáticas (Barbosa et al., 2012; Brien et al., 2016).

As árvores de tachi-branco são recomendadas para a recuperação de áreas degradadas, de acordo com Farias et al. (2016) que relataram o melhor desempenho das árvores no quarto ano, em sobrevivência (52%) e de produtividade do lenho (241,7 Mg ha⁻¹ de biomassa) em comparação com o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*. Como biomassa para a geração de energia, as árvores de tachi-branco apresentam incremento médio anual acima de 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (Souza et al., 2008), madeira com 0,490-0,633 g cm⁻³ e 4.390-4.567 kcal kg⁻¹ de densidade básica e de poder

calorífico superior, respectivamente (Tomaselli et al., 1983; Farias et al., 2016; Orellana et al., 2018; Silva et al., 2021a). Vale salientar que o incremento médio anual acima de 40 m³ foi identificado em áreas experimentais no estado do Amazonas. Entretanto, a depender do material genético, do manejo e das condições edafoclimáticas, essa produtividade em biomassa pode sofrer variações significativas.

A dendrocronologia pode prover informações precisas do incremento anual em diâmetro do tronco, volume, biomassa e densidade do lenho, considerados parâmetros importantes e necessários para a aplicação dos protocolos silviculturais para a análise do desenvolvimento e da produtividade das árvores em plantações florestais. Na floresta tropical da Amazônia, a exemplo dos demais biomas tropicais do mundo, são escassos os resultados da análise dos anéis de crescimento em relação às espécies de clima temperado, havendo necessidade da intensificação da aplicação da anatomia e da xilogênese (formação do lenho), do conhecimento dos fatores ecológico-ambientais que afetam a sazonalidade da atividade cambial e, desta forma, da aplicação de métodos de dendrocronologia (Schöngart et al., 2017; Ortega-Rodriguez et al., 2022).

Agrega-se, também, a necessidade da ampliação dos estudos de espécies potenciais para a dendrocronologia na Amazônia em relação às pesquisas atuais aplicadas a um número restrito de espécies. Essa ampliação de espécies e da área de ocorrência natural na floresta da Amazônia propiciará metodologias para a melhor compreensão das modificações do uso e cobertura da terra, do desmatamento, das mudanças climáticas etc., com a perspectiva de prever os impactos futuros e aplicar políticas públicas mitigadoras (Fontana et al., 2018; Albiero-Júnior et al., 2019). Em plantações florestais tropicais, a dendrocronologia possibilita a elaboração de protocolos de manejo sustentável das árvores relacionados com o ciclo de corte, de desbastes, avaliação contínua do ritmo de crescimento, da produção de biomassa e do carbono, da qualidade do lenho etc., contribuindo para o desenvolvimento socioambiental da região.

Caracterização dos anéis de crescimento do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*

Árvores de *T. vulgaris*, com idade de 8 anos, procedentes de área de plantação experimental de diferentes espaçamentos de plantio, instalada no distrito de Monte Dourado, no município de Almeirim, mesorregião do Baixo Amazonas, PA, foram selecionadas, cortadas e, em seguida, seccionadas (amostras do lenho, 3 cm de espessura) em diferentes alturas do seu tronco. Em condições de laboratório, as seções transversais do lenho foram polidas com lixas de diferentes granulometrias para destacar a sua estrutura anatômica macroscópica e os anéis de crescimento (Figura 1). As observações a olho nu e sob microscópio estereoscópico evidenciaram as regiões do alburno-cerne e os distintos anéis de crescimento demarcados por zona fibrosa escura e redução da frequência dos vasos (Figura 1B).

A demarcação do limite dos anéis de crescimento permitiu a contagem, comprovando a sua anuidade pela idade das árvores da plantação florestal e a avaliação da largura, pela imagem escaneada da seção transversal e aplicação de *software*, dos anéis de crescimento (Figura 1C). Observa-se uma diminuição da largura do anel de crescimento anual em função da idade cambial, independente do espaçamento de plantio, com o maior valor médio ocorrido no primeiro ano (2012: 18,02 mm; maior contribuição em relação ao raio do tronco) e menor valor nos anos seguintes (2016: 5,02; 2017: 4,22 e 2018: 3,89 mm).

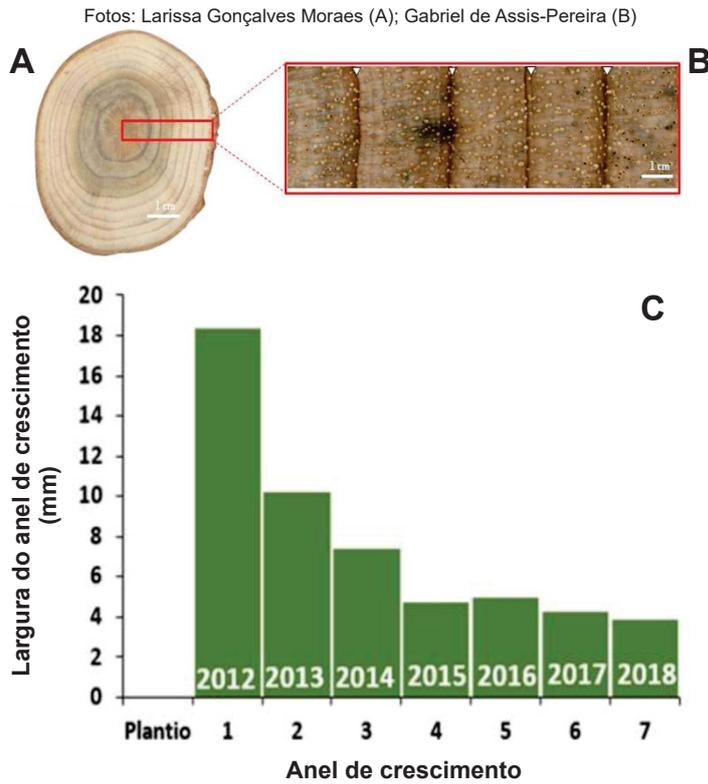


Figura 1. Árvore de *Tachigali vulgaris*: seção transversal do lenho do tronco (A); caracterização macroscópica (B) e largura dos anéis de crescimento anuais (C).

O resultado da análise da variância indicou efeito não significativo entre a interação da idade cambial *versus* espaçamento de plantio para a largura dos anéis de crescimento anuais, com significância apenas para a idade cambial, indicando que o crescimento do tronco foi influenciado pela idade das árvores de tachi-branco (Tabela 1). Essa redução da largura dos anéis de crescimento anuais em função da idade cambial reflete o comportamento biológico do crescimento do tronco das árvores dessa espécie, com a formação de anéis de crescimento largos pela atividade cambial nos primeiros anos; com a competição pelos fatores de crescimento e envelhecimento das células meristemáticas cambiais, os anéis de crescimento tornam-se gradativamente menores.

Tabela 1. Análise da variância de espaçamento *versus* anéis de crescimento de árvores de *Tachigali vulgaris*.

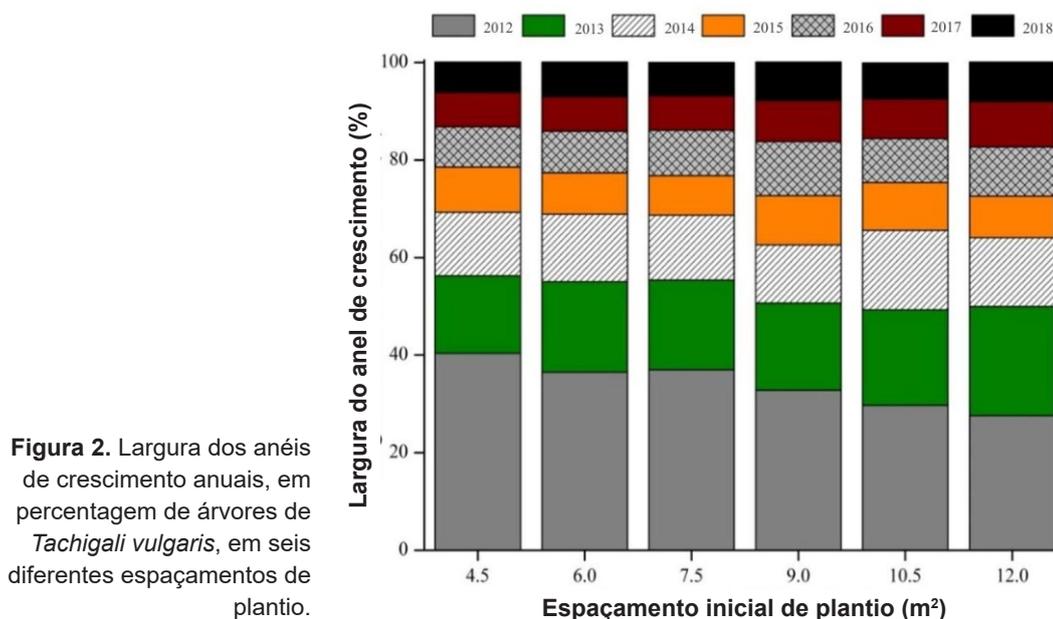
Fonte de Variação	GL	Largura do anel	
		QM	Fc
Espaçamento	5	9,46	3,30 ^{ns}
Bloco	2	4,81	1,68 ^{ns}
Erro a (parcela)	10	2,87	
Anel	6	463,41	117,41*
Espaçamento x Anel	30	3,60	0,911 ^{ns}
Erro b (subparcela)	72	3,95	
Total	120		
Cve ¹		22,18	
Cve ²		26,00	

Legenda: GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; Fc = Fcalculado; Cve¹ = coeficiente de variação experimental para parcela (%); Cve² = coeficiente de variação experimental para subparcela (%); * = significativo a 5% de significância; ^{ns} = não significativo a 5% de significância. *Análises realizadas a partir de discos retirados na altura do DAP.

A largura do anel de crescimento está, geralmente, associada ao crescimento do tronco das árvores e se constitui em parâmetro de qualidade da madeira para fins estruturais, indicando valores de 4-6 mm para árvores de *Pinus taeda* (Ortega-Rodriguez; Tomazello-Filho, 2019). Apesar da largura dos anéis de crescimento não ser o único parâmetro de qualidade para classificação de madeiras para fins energéticos, os valores registrados para a madeira de *T. vulgaris* podem ser considerados adequados, comparativamente a outras espécies utilizadas no Brasil.

Anéis de crescimento: largura versus espaçamento de plantio de árvores de *Tachigali vulgaris*

A representatividade da largura dos anéis de crescimento anuais (em porcentagem) em relação ao raio do lenho do tronco das árvores variou em relação ao espaçamento de plantio das árvores de tachi-branco, sendo que no (i) menor espaçamento ($4,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) o primeiro anel de crescimento corresponde a 40%, seguindo-se (ii) os espaçamentos conferindo as áreas de 6,0; 7,5; 9,0; 10,5 e $12,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$ representando 36,5%, 37,0%, 32,8%, 29,7% e 27,6%, respectivamente. A variação radial da largura (mm) dos anéis de crescimento e a sua porcentagem em relação ao raio do lenho estão vinculados com o grau de disponibilidade dos fatores de crescimento (luz, água, nutrientes, etc.) ao longo da rotação da plantação das árvores de tachi-branco. Enquanto, no espaçamento mais restrito ($4,5 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$), a competição que se estabelece nos anos iniciais (primeiro anel de crescimento mais representativo em porcentagem), nos espaçamentos mais amplos ($9,0\text{-}12,0 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$) é gradual (anéis de crescimento correspondendo a 29,7-27,6%) entre as árvores de tachi-branco (Figura 2).



Importante destacar a correlação dos valores radiais (medula-casca) entre a (i) largura e porcentagem com a (ii) densidade aparente do lenho dos anéis de crescimento anuais formados no tronco das árvores de tachi-branco, obtida pela metodologia de densitometria de raios X. Essa metodologia caracteriza os anéis de crescimento anuais do (i) início do crescimento, maior largura/pequena densidade aparente (madeira juvenil, maior porcentagem de lenho inicial em relação ao tardio do anel de crescimento anual) em relação aos do (ii) final do crescimento, média largura/pequena densidade

(madeira adulta, porcentagem de lenho inicial em relação ao lenho tardio do anel de crescimento anual) das árvores de tachi-branco, no momento do corte (oitavo ano) (Figura 3). Portanto, apesar da não significância do espaçamento de plantio no raio (ou diâmetro) do tronco das árvores de tachi-branco, há importantes variações dos parâmetros de qualidade do lenho dos anéis de crescimento na direção radial (medula-casca) expressas pelos valores de densidade aparente do lenho e detectadas pela microdensitometria de raios X. Esses fatores silviculturais (espaçamentos) e da xilogênese (formação e características anatômicas e física dos anéis de crescimento) influenciam as propriedades e características tecnológicas da madeira e, conseqüentemente, seus usos e aplicações.

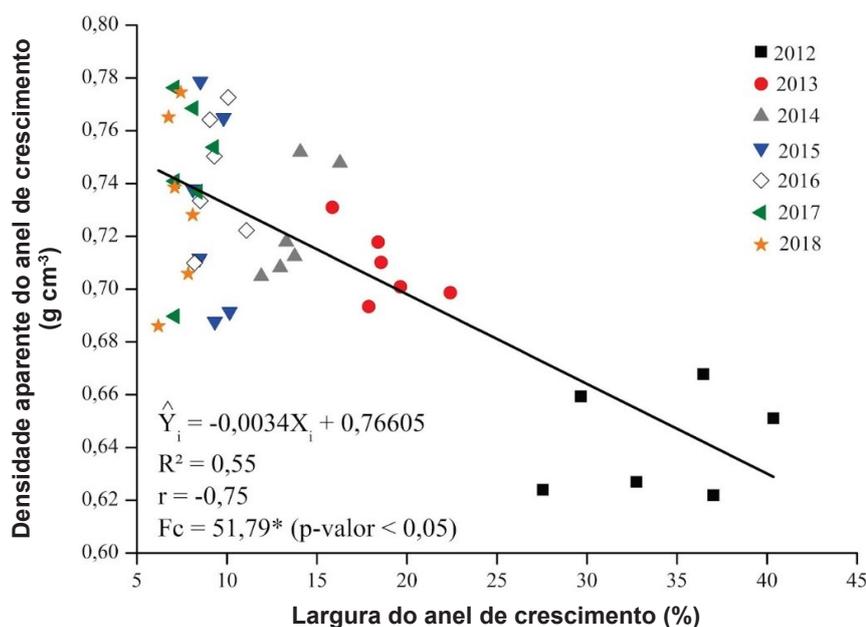


Figura 3. Correlação entre largura e densidade aparente dos anéis de crescimento anuais do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*, aos oito anos de idade.

Anéis de crescimento: volume, biomassa e carbono de árvores de *Tachigali vulgaris*

Os resultados dos inventários florestais associados à avaliação da largura dos anéis de crescimento anuais possibilitaram estimar o volume do lenho por ano (m^3) do tronco das árvores de tachi-branco, com a utilização de relações hipsométricas e equações de volume. Observa-se que, nos anos iniciais (1^o-4^o anos) do crescimento em altura-diâmetro do tronco das árvores, compreendendo o período de 2012-2015, os valores de volume do lenho do tronco foram variáveis, com tendência à estabilização (5^o-7^o anos), no período 2016-2018 (Figura 4A). Os resultados indicam que o manejo silvicultural das árvores de tachi-branco da plantação experimental, nos espaçamentos avaliados (4,5-12 m^2 árvore⁻¹) devem ser aplicados entre o 5^o-6^o ano, nestas condições de sítio.

A densidade aparente do lenho dos anéis de crescimento anuais, determinada pela densitometria de raios X, possibilita obter os correspondentes valores de biomassa e do teor de C por anel de crescimento anual do tronco das árvores de tachi-branco (Figura 4B e 4C). Os resultados indicam que a variação anual da biomassa e do carbono no lenho dos anéis de crescimento, a exemplo do volume, apresentou variações até o 4^o ano e, com tendência à estabilização do 5^o ao 7^o anel de crescimento.

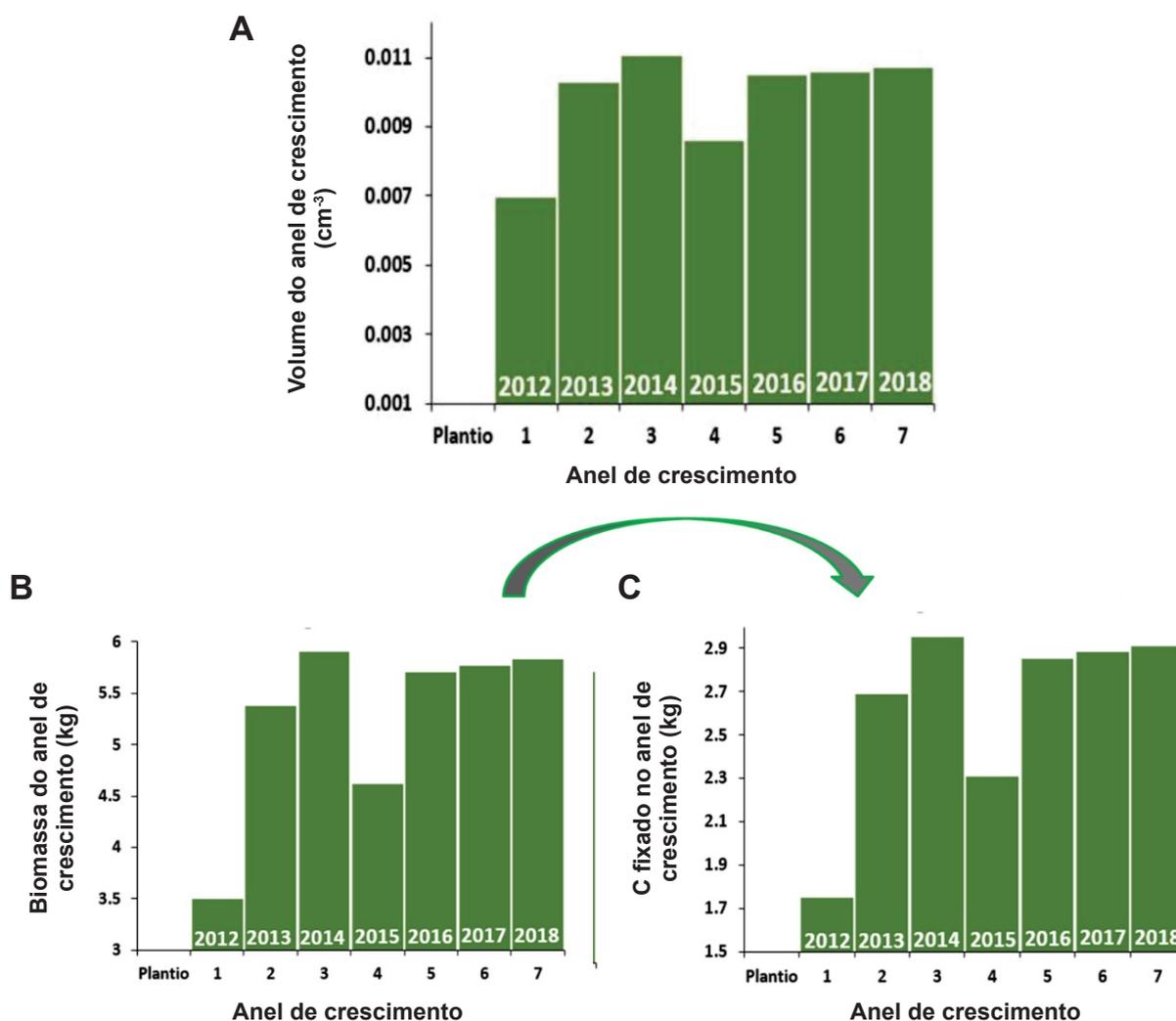


Figura 4. Volume, biomassa e carbono dos anéis de crescimento anuais de árvores de *Tachigali vulgaris*.

Os valores de incrementos em biomassa e C nos anéis de crescimento anuais do lenho, obtidos pela aplicação da dendrocronologia e da densitometria de raios X nas árvores de tachi-branco, são fundamentais e imprescindíveis na avaliação contínua da produtividade florestal sustentável das plantações florestais (Bouriaud et al., 2015).

Anéis de crescimento: mapa da densidade do lenho de árvores de *Tachigali vulgaris*

A análise da seção transversal do lenho do tronco das árvores de tachi-branco permite observar uma distinta demarcação do cerne (xilema não funcional, com extrativos) e do alborno (xilema funcional, com carboidratos não estruturais) (Figura 5A e 5B) importante para a caracterização tecnológica da madeira e avaliação da resistência natural aos agentes xilófagos. A mesma seção transversal do lenho, avaliada pelas imagens digitais obtidas no equipamento de raios X (Figura 5C) e multiespectral (Figura 5D), permite verificar as regiões de maior densidade do lenho, caracterizadas pelo lenho tardio dos anéis de crescimento anuais e pelo lenho de tração, expressos pela coloração mais clara (pela maior atenuação à passagem dos raios X). Pelos mesmos parâmetros, observam-se regiões de menor densidade (regiões centrais do lenho, no entorno da medula, madeira juvenil) e de maior

densidade (regiões periféricas do lenho, próximas à casca, madeira adulta) e do lado contrário da inclinação do tronco (lenho de tração, com fibras com a camada G layer).

Os perfis radiais de microdensidade dos anéis de crescimento das amostras do lenho, coletadas ao longo da altura do tronco das árvores, possibilitaram, a exemplo dos resultados apresentados por Jacquin et al. (2017) e Schimleck et al. (2020), a construção dos mapas de variação da densidade do tronco das árvores de tachi-branco (Figura 5D), associando-se com o *software* QGIS. A análise do mapa de variação da densidade do tronco permite inferir sobre importantes aspectos da xilogênese, da biomecânica e das propriedades, usos e aplicações da madeira, incluindo a avaliação do efeito dos tratamentos silviculturais. Desta forma, o mapa do tronco da árvore de tachi-branco (tratamento $4,5 \text{ m}^2 \text{ árvore}^{-1}$) expressa regiões internas do lenho de menor densidade, e, externas, de maior densidade. O valor máximo da densidade aparente do lenho ocorre na base do tronco da árvore, sendo caracterizada pelo lenho de tração (Figura 5C e 5D). A variação da densidade aparente do lenho na direção base-topo e medula-casca do tronco da árvore de tachi-branco é importante para a definição dos tratamentos silviculturais e preconização dos parâmetros de qualidade e de utilização da madeira.

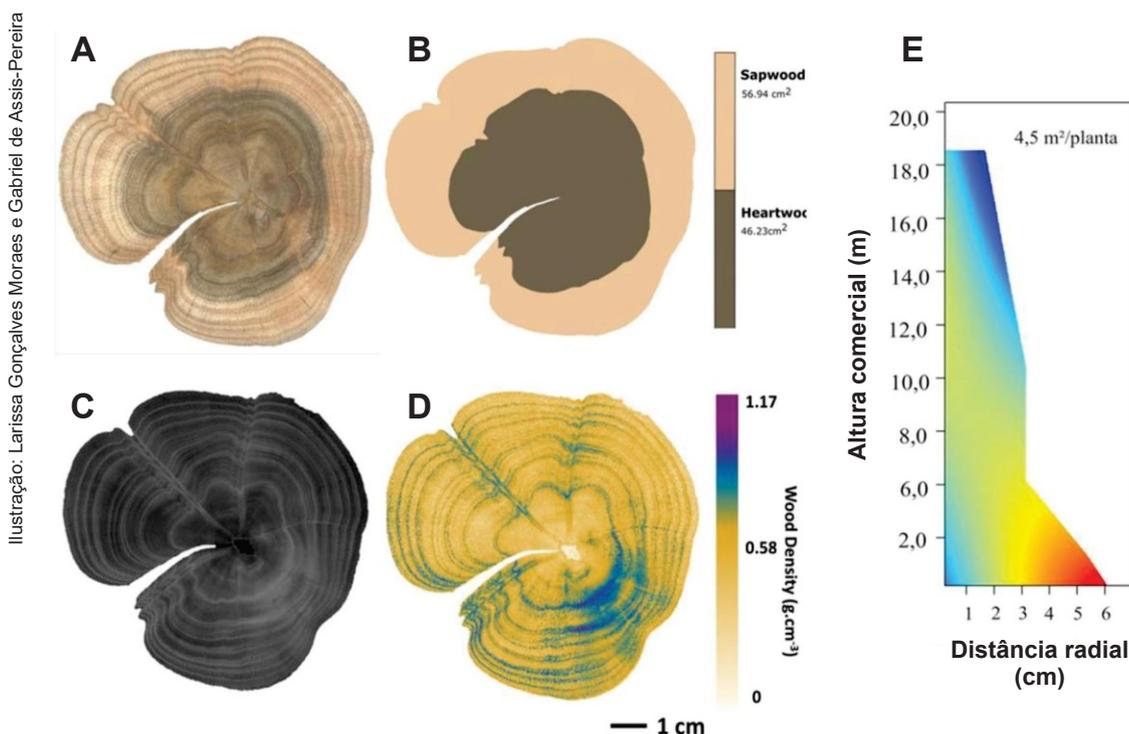


Figura 5. Seção transversal do lenho do tronco de árvore de *Tachigali vulgaris*: anéis de crescimento e cerne-alburno (A e B); imagem radiográfica e multiespectral do lenho, com a variação da densidade aparente (C e D) e mapa do tronco com a variação da densidade aparente do lenho (E).

Anéis de crescimento: avaliação do efeito de eventos *El Niño* em árvores de *T. vulgaris*

Eventos climáticos extremos na Floresta Amazônica resultam em impactos socioeconômicos severos, tais como a diminuição da produção agrícola e o transporte de bens e pessoas (Aragão et al., 2018; Ribeiro et al., 2022). Em anos de seca, os processos fisiológicos das árvores nos biomas são alterados, como é o caso da absorção do carbono, pela diminuição da fotossíntese e da produtivi-

dade primária líquida, o que pode acarretar impactos globais no clima e no ciclo do carbono (Brando et al., 2014).

A variabilidade climática na Amazônia é ligada aos eventos *El Niño* Oscilação Sul (ENOS), associado aos anos de ocorrência de seca (Aragão et al., 2018; Ribeiro et al., 2022), destacando-se o período de seca dos anos de 2015/2016 sendo uma dos maiores já registrados na Floresta Amazônica e intensificado devido às ações antrópicas (Ribeiro et al., 2022).

Na análise da taxa de crescimento do tronco, no ano de 2015, foi observada uma redução expressiva do volume, biomassa e fixação de carbono pelas árvores de *T. vulgaris* (Figura 4). As variáveis climáticas regionais podem ser expressas pelo Índice de Precipitação-Evapotranspiração Padronizado (Índice de Seca SPEI) (SPEI Global Drought Monitor, 2022) e indicados na Figura 6 por dois anos climaticamente distintos, 2015 e 2011, pela intensidade de seca e de precipitação pluvial, respectivamente. Na região, as chuvas estão concentradas nos meses de janeiro a junho, com aproximadamente 78% do total anual (Zepner et al., 2020). Assim na Figura 4 é apresentado o Índice de Seca SPEI semestre mais chuvoso.

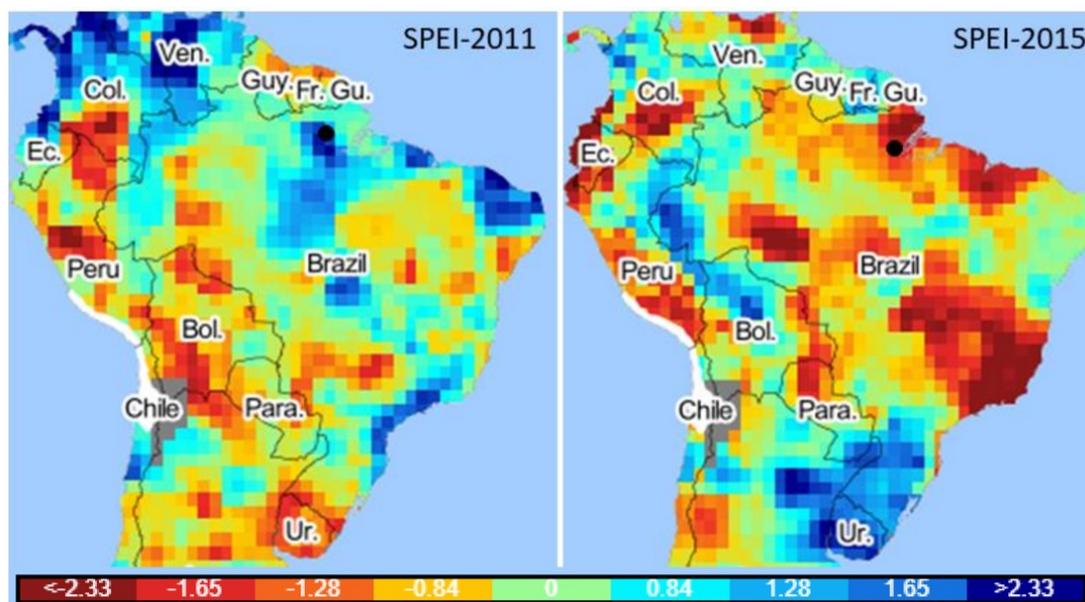


Figura 6. Mapas de SPEI (janeiro-junho) com padrões de variação de seca: ano chuvoso (2011) e seco (2015).

Legenda: Cor azul representa anos mais chuvosos e cor vermelha representam anos mais secos. O mapa e a série temporal mostram dados de seis meses, com índice SPEI calculado a partir de janeiro.

Fonte: SPEI (2022).

O período de seca dos anos de 2015/2016 é resultante do evento *El Niño*, com início no final de 2014, que perdurou até meados de 2016, caracterizado pela uma longa estiagem na região Norte do Brasil (Jiménez-Muñoz et al., 2016) e incluindo as áreas próximas do povoamento experimental de *T. vulgaris*. As árvores de tachi-branco evidenciaram esse período na formação e nas características dos seus anéis de crescimento, comprovando a sua resposta fisiológica-anatômica às variáveis ambientais e indicando o seu potencial para estudos de dendrocronologia e dendroclimatologia.

A reação das árvores de tachi-branco ao período de seca é coincidente com a reação das árvores de *Cedrela fissilis* ocorrentes na Floresta Estadual do Paru, próxima à do Rio Jari, indicando um efeito regional e amplo da região afetada pelo estresse hídrico. Desta forma, as árvores de

C. fissilis, comprovadamente potenciais para a dendrocronologia, a exemplo das de tachi-branco, apresentam uma significativa resposta na formação e nas características dos anéis de crescimento à variabilidade das precipitações pluviais regionais, possibilitando a reconstrução hidroclimática retroativa aos períodos pré-instrumentais (Granato-Souza et al., 2019; 2020). Ainda, a retomada dos índices de produtividade das árvores de tachi-branco, no ano de 2016, evidencia a sua resiliência aos fatores ambientais adversos.

Considerações finais

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que os parâmetros de crescimento e de qualidade do lenho, incluindo a formação e características dos anéis de crescimento anuais, das árvores de tachi-branco são efetivamente analisados pela aplicação das metodologias de dendrocronologia e de densitometria de raios X. As análises permitem reconstruir o histórico do crescimento do tronco das árvores, a variação da largura, densidade, massa e C no lenho dos anéis de crescimento anuais. Da mesma forma, o uso destas metodologias também permite a construção dos mapas do tronco expressando a variação da densidade do lenho das árvores de tachi-branco. Verifica-se ainda a correlação entre os parâmetros dos anéis de crescimento das árvores e o efeito das variáveis ambientais e, especificamente do evento *El Niño* de 2015-2016. Esses resultados, associados ao crescimento das árvores de tachi-branco em diferentes espaçamentos de plantio, permitem associar as práticas de manejo silvicultural, visando à uma maior produtividade e qualidade do lenho para os inúmeros usos e aplicações. As metodologias aplicadas se mostraram efetivas e potenciais para ampliar com precisão os estudos de quantificação de biomassa e de carbono e biomassa das árvores de tachi-branco e de outras espécies do bioma Amazônia.

Agradecimentos e fonte de financiamento

Os autores agradecem ao Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (Esalq/USP), ao Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), à Embrapa Amazônia Oriental, aos Programas de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Ufra e Recursos Florestais da Esalq-USP, à Empresa Jari Celulose S.A., ao Programa de Cooperação Acadêmica - Procad Amazônia (Edital 21/2018, Proc. 23038.005350/2018-78), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes - Código financiamento: 001); à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp-NSF), ao *Partnership for International Research and Education da National Science Foundation* (PIRE/NSF - Proc. 2017/50085-3) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo 306793/2019-9).

Referências

- ALBIERO-JÚNIOR, A.; CAMARGO, J. L. C.; ROIG, F. A.; SCHÖNGART, J.; PINTO, R. M.; VENEGAS-GONZÁLEZ, A.; TOMAZELLO-FILHO, M. Amazonian trees show increased edge effects due to Atlantic Ocean warming and northward displacement of the Intertropical Convergence Zone since 1980, **Science of The Total Environment**, v. 693, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.321>.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H.; SILVA, C. V. J.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ARAI, E.; AGUIAR, A. P.; BARLOW, J.; BERENQUER, E.; DEETER, M. N.; DOMINGUES, L. G.; GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENCO, J. A.; MILLER, J. B.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- BALLESTEROS-CANOVAS, J. A.; STOFFEL, M.; ST GEORGE, S.; HIRSCHBOECK, K. A review of flood records from tree rings. **Progress in Physical Geography**, v. 39, n. 6, p. 794-816, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133315608758>.
- BARBOSA, J. P. R. A. D.; RAMBAL, S.; SOARES, A. M.; MOUILLOT, F.; NOGUEIRA, J. M. P.; MARTINS, G. A. Plant physiological ecology and the global changes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, p. 253-269, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000300001>.
- BARROS, U. O.; ROSÁRIO, W. A. S.; LIMA, M. D. R.; SILVA, M. O. S.; PATRÍCIO, E. P. S.; GONÇALVES, D. A.; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. P. Effects of tree spacing and forking on the modification of wood density in a trial plantation of *Tachigali vulgaris* for energy in Amazônia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 34, n. 1, p. 11-23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.11>.
- BRANDIS, D. **Report on the teak forests of Pegu**: A memorandum on the teak in the Tharawaddy forests. HM Stationery Office, 1860.
- BRANDIS, D. Memorandum on the rate of growth of teak. **Indian Forester**, v. 4, n. 3, p. 215-225, 1879.
- BOURIAUD, O.; TEODOSIU, M.; KIRDYANOV, A. V.; WIRTH, C. Influence of wood density in tree ring-based annual productivity assessments and its errors in Norway spruce. **Biogeosciences**, v. 12, p. 6205-6217, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-12-6205-2015>.
- BRANDO, P. M.; BALCH, J. K.; NEPSTAD, D. C.; MORTON, D. C.; PUTZ, F. E.; COE, M. T.; SILVÉRIO, D.; MACEDO, M. N.; DAVIDSON, E. A.; NÓBREGA, C. C.; ALENCAR, A.; SOARES-FILHO, B. S. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 17, p. 6347-6352, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1305499111>.
- BRIENEN, R. J. W.; HELLE, G.; PONS, T. L.; GUYOT, J. L.; GLOOR, M. Oxygen isotopes in tree rings are a good proxy for Amazon precipitation and El Niño-Southern Oscillation variability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 42, p. 16957-16962, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1205977109>.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: Strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. **Oecologia**, v. 163, n. 2, p. 485-496, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1540-5>.
- BRIENEN, R. J. W.; SCHÖNGART, J.; ZUIDEMA, P. A. Tree rings in the Tropics: Insights into the ecology and climate sensitivity of tropical trees. In: GOLDSTEIN, G.; SANTIAGO, L. (ed.). **Tropical tree physiology**. Switzerland: Springer, 2016. p. 439 - 461. (Tree Physiology book series, v. 6). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5_20.
- COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of dendrochronology**: Applications in the environmental sciences. Netherlands: Academic Publishers, 1989. 394 p.
- COOK, E. R.; MEKO, D. M.; STAHL, D. W.; CLEAVELAND, M. K. Drought reconstructions for the continental United States. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1145-1162, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1145:DRFTCU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1145:DRFTCU>2.0.CO;2).
- EVANS, M. E. K.; DEROSE, R. J.; KLESSE, S.; GIRARDIN, M. P.; HEILMAN, K. A.; ALEXANDER, M. R.; ARSENAULT, A.; BABST, F.; BOUCHARD, M.; CAHOON, S. M. P.; CAMPBELL, E. M.; DIETZE, M.; DUCHESNE, L.; FRANK, D. C.; GIEBINK, C. L.; GÓMEZ-GUERRERO, A.; GARCÍA, G. G.; HOGG, E. H.; METSARANTA, J.; GAYTÁN, S. A. V. Adding tree rings to North America's National Forest Inventories: An essential tool to guide drawdown of atmospheric CO₂. **BioScience**, v. 72, n. 3, p. 233-246, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biab119>.

- FARIAS, J.; MARIMON, B.; SILVA, L.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P.; MARIMON JUNIOR, B. H. Survival, and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- FERRERO, M. E.; VILLALBA, R.; MEMBIELA, M. de; FERRI HIDALGO, L.; LUCKMAN, B. H. Tree-ring based reconstruction of Río Bermejo streamflow in subtropical South America. **Journal of Hydrology**, v. 525, p. 572-584, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.004>.
- FONTANA, C.; REIS-AVILA, G.; NABAIS, C.; BOTOSSO, P. C.; OLIVEIRA, J. M. Dendrochronology, and climate in the Brazilian Atlantic Forest: Which species, where and how. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 13, n. 4, p. 321-333, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4013/nbc.2018.134.06>.
- FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. Caldwell: Blackburn Press, 1976. 567 p.
- GRANATO-SOUZA, D.; STAHL, D. W.; BARBOSA, A. C.; FENG, S.; TORBENSON, M. C. A.; ASSIS-PEREIRA, G. de; SCHÖNGART, J.; BARBOSA, J. P.; GRIFFIN, D. Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 3/4, p. 1857-1869, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4227-y>.
- GRANATO-SOUZA, D.; STAHL, D. W.; TORBENSON, M. C. A.; HOWARD, I. M.; BARBOSA, A. C.; FENG, S.; FERNANDES, K.; SCHÖNGART, J. Multidecadal changes in wet season precipitation totals over the eastern Amazon. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 8, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020GL087478>.
- HASTENRATH, S. Dendrochronologie in El Salvador. **Meteorol Rundsch**, v. 4, p.110-113, 1963.
- HERWEIJER, C.; SEAGER, R.; COOK, E. R. North American droughts of the mid to late nineteenth century: A history, simulation, and implication for Mediaeval drought. **Holocene**, v. 16, n. 2, p. 159-171, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1191/0959683606h917rp>.
- JACQUIN, P.; LONGUETAUD, F.; LEBAN, J. M.; MOTHE, F. X-ray microdensitometry of wood: A review of existing principles and devices. **Dendrochronologia**, v. 42, p. 42-50, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.01.004>.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J. A.; SCHRIER, G. V. D. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015-2016. **Scientific Reports**, v. 6, 33130, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33130>.
- MORALES, M. S.; COOK, E. R.; BARICHIVICH, J.; CHRISTIE, D. A.; VILLALBA, R.; LEQUESNE, C.; SRUR, A. M.; EUGENIA FERRERO, M.; GONZÁLEZ-REYES, A.; COUVREUX, F.; MATSKOVSKY, V.; ARAVENA, J. C.; LARA, A.; MUNDO, I. A.; ROJAS, F.; PRIETO, M. R.; SMERDON, J. E.; BIANCHI, L. O.; MASIOKAS, M. H.; BONINSEGNA, J. A. Six hundred years of South American tree rings reveal an increase in severe hydroclimatic events since mid-20th century. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 117, n. 29, p. 16.816-16.823, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2002411117>.
- ORELLANA, B. B. M.; VALE, A. T. do; GONÇALEZ, J.; GUEDES, M. C.; ORELLANA, J. B. P.; LIMA, C. M. Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia. **Nativa**, v. 6, p. 773-781, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5130>.
- ORTEGA-RODRIGUEZ, D. R.; TOMAZELLO-FILHO, M. Clues to wood quality and production from analyzing ring width and density variabilities of fertilized *Pinus taeda* trees. **New Forests**, v. 50, n. 5, p. 821-843, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-018-09702-9>.
- RAMOS, L. de O.; MIRANDA, R. O. V. de; SOARES, A. A. V.; PAULA PROTÁSIO, T. de; GONÇALVES, D. de A. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/rev.v51i4.75138>.
- RIBEIRO, G. G.; ANDERSON, L. O.; BARRETOS, N. J. C.; ABREU, R.; ALVES, L.; DONG, B.; LOTT, F. C.; TETT, S. F. B. Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, e25, 2022. 10 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/cli.2.25>.
- SCHIMLECK, L. R.; ANTONY, F.; MORA, C.; DAHLEN, J. Whole-tree tracheid property maps for loblolly pine at different ages. **Wood Science and Technology**, v. 54, n. 3, p. 683-701, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01180-7>.
- SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1/2, p. 46-58, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.037>.

SCHÖNGART, J.; BRÄUNING, A.; BARBOSA, A. C. M. C.; LISI, C. S.; OLIVEIRA, J. M. de. Dendroecological studies in the neotropics: History, status and future challenges. In: AMOROSO, M.; DANIELS, L.; BAKER, P.; CAMARERO, J. (ed.). **Dendroecology: Tree-Ring Analyses Applied to Ecological Studies**. Switzerland: Springer, 2017. p. 35-73. (Ecological Studies, v. 231). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8_3.

SILVA, M. O. dos S.; SILVA, M. G. da; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R. de; GONÇALVES, D. de A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Características termogravimétricas e combustão da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente de plantios com diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 1-15, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.01>.

SILVA, M. O. dos S.; SILVA, M. G. da; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R. de; GONÇALVES, D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacing for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 211-224, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01068-8>.

SOUSA, V. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima)**: botânica, ecologia e silvicultura. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 426). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1062064/1/DOCUMENTOS426Ainfo.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176297/1/cap01.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SPEI. **SPEI Global Drought Monitor**, 2022. Disponível em: <https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=2#year=2022>. Acesso em: 20 out. 2022.

STAHLE, D. W.; COOK, E. R.; BURNETTE, D. J.; VILLANUEVA, J.; CERANO, J.; BURNS, J. N.; GRIFFIN, D.; COOK, B. I.; ACUÑA, R.; TORBENSON, M. C. A.; SJEZNER, P.; HOWARD, I. M. The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. **Quaternary Science Reviews**, v. 149, p. 34-60, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.06.018>.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de tachi-branco da terra firme (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL) para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6/7, p. 33-44, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaselli.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. (ed.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: Educ, 2001. p. 117-143.

TSCHINKEL, H. M. Annual growth rings in *Cordia alliodora*. **Turrialba**, v. 16, p. 73-80, 1966.

WORBES, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics – A brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1/2, p. 217-231, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>.

ZEPNER, L.; KARRASCH, P.; WIEMANN, F.; BERNARD, L. ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform. **International Journal of Digital Earth**, p. 338-356, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>.

ZHANG, Z. Tree-rings, a key ecological indicator of environment and climate change. **Ecological Indicators**, v. 51, p. 107-116, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.042>.

Qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* visando à produção de carvão vegetal siderúrgico

Thiago de Paula Protásio
Michael Douglas Roque Lima
Udson de Oliveira Barros Junior
Lina Bufalino
Arystides Resende Silva
Delman de Almeida Gonçalves
Paulo Fernando Trugilho

Introdução

A energia proveniente da biomassa é uma alternativa econômica eficaz, sustentável e viável para suprir as demandas de diversos setores da sociedade (Silva et al., 2015; Silva, 2019) e representa mais de 30% da matriz energética nacional. No Brasil, no que se refere aos povoamentos florestais comerciais, há preponderância do plantio de espécies dos gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Pinus*. De acordo com o Relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), o Brasil possui cerca de 9,55 milhões de ha de florestas plantadas, dos quais 7,47 milhões de ha são de espécies do gênero *Eucalyptus*, 1,7 milhões de ha de *Pinus* e 382 mil ha de outras espécies, especialmente *Hevea brasiliensis*, *Acacia mangium*, *Tectona grandis* e *Schizolobium amazonicum*. Deste total de áreas plantadas, cerca de 14% são destinados exclusivamente à produção de carvão vegetal para siderurgia, atividade de destaque no País.

Nos estados do Pará e Maranhão, onde está localizado o polo siderúrgico de Carajás, segundo maior do Brasil, há necessidade de biomassa e carvão vegetal para geração de energia (Silva, 2019). Contudo, atualmente, os plantios florestais homogêneos são incipientes nesses estados da Amazônia brasileira. Com o aumento da demanda por florestas energéticas, a espécie *Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima, vulgarmente conhecida como tachi-branco ou carvoeiro, pode ser destaque na produção e diversificação da base florestal energética do Brasil (Martorano et al., 2018). Além disso, essa espécie já está adaptada às condições edafoclimáticas da região, o que alivia a pressão sobre o ecossistema nativo remanescente (Farias et al., 2016; Guimarães et al., 2018). Neste sentido, a utilização de espécies nativas em plantios supriria as necessidades dos setores siderúrgico e madeireiro, reduzindo impactos ambientais, tal como o desmatamento.

T. vulgaris é uma espécie pioneira pertencente à família Fabaceae-Caesalpinioideae, com elevado potencial para a recuperação de áreas degradadas (Campos-Filho, 2009). Souza et al. (2008) reportaram que a espécie apresenta excelente potencial para plantios comerciais na região Amazônica. Pesquisas recentes demonstraram que a madeira de *T. vulgaris* apresenta propriedades físico-químicas e térmicas adequadas aos processos de conversão termoquímicos, especialmente pirólise e combustão (Silva et al., 2021a; 2021b). A madeira de *T. vulgaris* proveniente de plantações experimentais apresentou densidade energética de 9,15 GJ m⁻³, aos sete anos de idade (Silva et al., 2021b). Esse valor é comparável à densidade energética de clones comerciais de *Eucalyptus* amplamente utilizados no Brasil, para fins energéticos em que se constata variação de 8,2-10,3 GJ m⁻³ (Protásio et al., 2020). Além disso, a espécie possui rápido crescimento em altura após o plan-

tio, podendo atingir 4,5 m de incremento médio anual e rápido acúmulo volumétrico (Rodrigues et al., 2020), com incremento médio anual variando de 20-25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, nas idades de 3-11 anos (Patrício, 2021). Em plantações experimentais de *T. vulgaris*, com espaçamento de 3 m x 3 m, foram estimadas produções volumétricas variando de aproximadamente 133-476 m³ ha⁻¹, nas idades entre 6 anos e 11 anos, respectivamente (Souza et al., 2008; Rodrigues et al., 2020; Patrício, 2021).

A espécie *T. vulgaris* apresenta ampla distribuição nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica e tem sido recomendada para recuperação de áreas degradadas e utilizada na produção de lenha, carvão vegetal e madeira serrada devido às suas características tecnológicas, ecológicas e silviculturais. Entretanto, pouco se conhece sobre o crescimento dessa espécie considerando diferentes tratamentos silviculturais e sítios, além de suas implicações nas propriedades do lenho visando múltiplos usos como, por exemplo, madeira para geração de bioenergia ou abastecimento da construção civil. Há escassez de informações detalhadas das propriedades do lenho de árvores plantadas de *T. vulgaris*, especialmente nas condições edafoclimáticas da Amazônia. Além disso, deve-se considerar que as plantações experimentais de tachi-branco são provenientes de sementes selvagens e, portanto, o conhecimento do efeito da variabilidade genética e ambiental no comportamento tecnológico da madeira se torna fundamental para atender aos distintos usos.

Nos últimos anos, pesquisas relacionadas à silvicultura e manejo de espécies nativas se concentraram, principalmente, a entender o efeito de fatores como: espaçamento de plantio (Tonini et al., 2018; Rodrigues et al., 2020; Silva et al., 2021b; Barros Júnior et al., 2022), nutrição mineral (Oliveira et al., 2008), testes de procedências e progênies (Cruz et al., 2020), nas características dendrométricas e na produtividade de madeira. Avaliar o efeito da idade, espaçamento, sítio, dentre outros fatores ambientais e efeitos genéticos é de suma importância quando se planeja a domesticação de uma espécie arbórea para posterior realização de plantios homogêneos para fins energéticos. Uma das características primordiais a se definir no início do plantio é o espaçamento, visto que este interfere na produção de massa seca por árvore, área basal, diâmetro e altura (Eloy et al., 2015); além da idade de corte, qualidade da madeira e, conseqüentemente, nos custos de produção (Moulin et al., 2017). Por isso, as pesquisas com *T. vulgaris* precisam avançar para o melhor entendimento dos efeitos de espaçamento, idade e do tipo de fuste nas propriedades da madeira, que podem afetar diretamente a produção e propriedades do carvão vegetal. Estas pesquisas visam subsidiar a criação de protocolos de manejo e a definição das melhores estratégias para maximizar a produtividade energética por unidade de área.

Estudos com tecnologia e utilização de produtos florestais têm avançado na análise de espécies exóticas, por exemplo, dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus*, *Khaya*, *Tectona* e *Toona*. Entretanto, é necessário conhecer os atributos de qualidade da madeira de árvores de espécies nativas da Amazônia quando cultivadas, como o *T. vulgaris*. Ademais, o comportamento físico-mecânico e a composição química da madeira jovem de *T. vulgaris* são desconhecidos, bem como a sua plasticidade fenotípica. Portanto, definir os potenciais usos do lenho dessas árvores é fundamental para a diversificação da cadeia produtiva do setor de base florestal na Amazônia.

Diante do exposto, o presente estudo visa esclarecer como o espaçamento afeta as propriedades da madeira, rendimento da carbonização e densidade relativa aparente do carvão vegetal de *T. vulgaris* produzido em condições de laboratório. As pesquisas foram realizadas no âmbito da “Rede brasileira de pesquisa em crescimento e qualidade da madeira da espécie *Tachigali vulgaris* (tachi-branco), proveniente de plantações homogêneas, para geração de bioenergia na Amazônia”, coordenada pelo Professor Thiago de Paula Protásio da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Efeitos do espaçamento de plantio sobre a qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris*

Variações importantes da densidade básica da madeira foram reportadas para *T. vulgaris*, aos 87 meses (0,386-0,610 g cm⁻³) e 102 (0,419-0,624 g cm⁻³) meses de idade (Figura 1). A análise de variância indicou efeito significativo do espaçamento sobre a densidade básica da madeira das árvores, aos 87 meses. Por outro lado, esse efeito não foi reportado para a densidade básica dessas madeiras, aos 102 meses (Lima et al., 2022). Dessa forma, para obter madeiras mais densas, independente do espaçamento de plantio, deve-se considerar a idade ideal de colheita das árvores. Cabe salientar que a densidade básica da madeira é um dos principais índices utilizados para a classificação de espécies destinadas à produção de carvão vegetal, em que madeiras com densidade básica elevada resultam em carvões densos. Os maiores espaçamentos influenciaram positivamente nos valores de densidade básica média de *T. vulgaris*, para a idade de 87 meses (Figura 2), em que os espaçamentos de 9,0 m² e 12,0 m² apresentaram os maiores valores, sendo em média 0,505 g cm⁻³ e 0,522 g cm⁻³, respectivamente.

Figura 1. Variação da densidade básica de madeiras de *Tachigali vulgaris*, aos 87 e 102 meses de idade, em diferentes espaçamentos de plantio.

Fontes: Adaptado de Barros Júnior (2020), Silva et al. (2021b) e Lima et al. (2022).

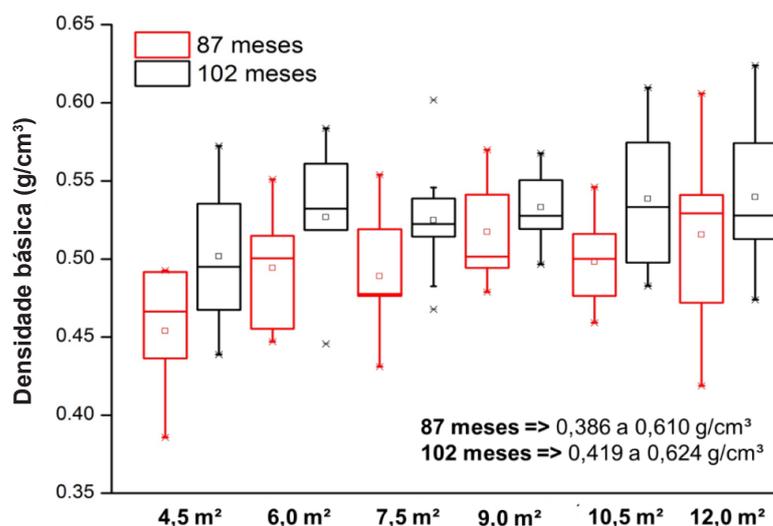
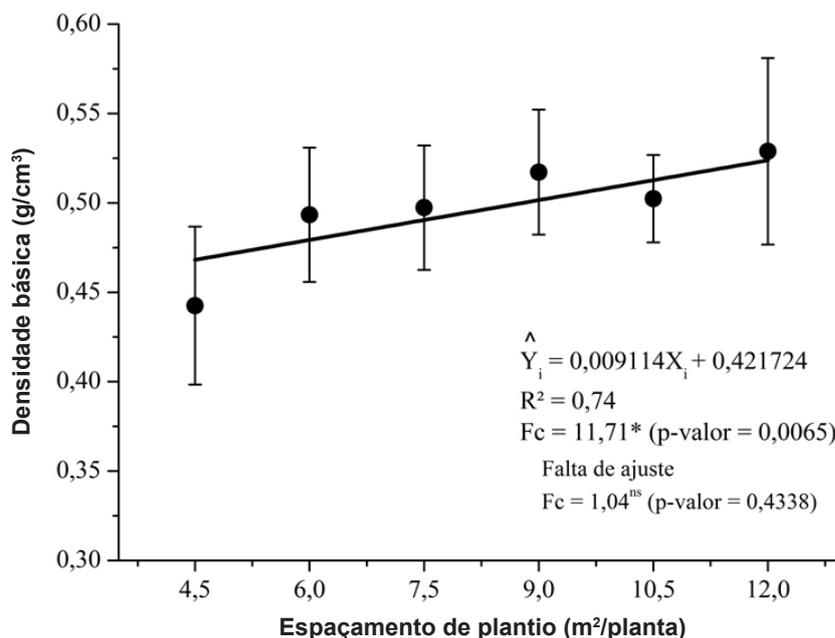


Figura 2. Comportamento da densidade básica da madeira em árvores de *Tachigali vulgaris*, aos 87 meses de idade, em função do espaçamento de plantio.

Fonte: Barros Júnior et al. (2022).



Para a idade de 87 meses, portanto, os maiores espaçamentos propiciaram árvores com maior densidade básica da madeira e, conseqüentemente, maior quantidade de energia estocada por metro cúbico. Isto pode ser importante do ponto de vista econômico, visto que se pode economizar no custo de implantação, na colheita e no transporte de madeira, se a floresta for implantada sob espaçamentos maiores (Moulin et al., 2017). Possivelmente, nos menores espaçamentos, a competição por luz e espaço entre as árvores acelerou os mecanismos de absorção de luz e nutrientes (Sereghetti et al., 2015). Assim, propriedades do lenho como a densidade tem seu desenvolvimento mais lento. Nos maiores espaçamentos, há uma maior área útil por árvore e, conseqüentemente, maior volume individual, bom desenvolvimento das raízes e da copa e disponibilidade de nutrientes para o aumento da densidade da madeira (Silva et al., 2021b). Em termos gerais, o espaçamento de 9,0 m², comparado ao 10,5 m² e 12,0 m², proporcionou produtividade volumétrica similar com menor número de árvores plantadas (Barros Júnior, 2020; Patrício, 2021), logo, apresenta melhor desempenho em termos de crescimento individual e por hectare, sem alterar negativamente a qualidade da madeira para geração térmica e produção de carvão vegetal com finalidades domésticas e industriais. Além disso, o espaçamento com área de 9,0 m² apresentou, em média, 65,59 % de árvores bifurcadas, enquanto os espaçamentos 10,5 m² e 12,0 m² apresentaram 76,30% e 72,99%, respectivamente (Patrício, 2021).

Aos 102 meses de idade, as árvores apresentaram menor variabilidade de densidade da madeira (Silva, 2019; Lima et al., 2022). Para a idade de 87 meses, os coeficientes de variação encontrados para a densidade básica média da madeira foram 8,00% e 8,32% para as árvores bifurcadas e não bifurcadas, respectivamente. Já na idade de 102 meses, os coeficientes de variação encontrados para a densidade básica média da madeira foram 5,91% e 6,41% para as árvores bifurcadas e não bifurcadas, respectivamente. Esses resultados comprovam que o acréscimo da idade proporcionou melhoria na qualidade e diminuição da heterogeneidade do lenho. Embora a espécie *T. vulgaris* seja descrita na literatura por apresentar fuste reto (Melo; Haridasan, 2010; Farias et al., 2016; Tonini et al., 2018), no plantio experimental realizado em Monte Dourado, PA, foi significativa a quantidade de árvores bifurcadas. Geralmente, as árvores bifurcadas apresentaram maior produção individual de madeira (Silva, 2019), mas, dependendo da idade de colheita, a densidade básica pode ser menor em árvores com múltiplos fustes (Lima et al., 2022). Dessa forma, há necessidade de trabalhos científicos que elucidem melhor as causas da formação desse tipo de fuste em *T. vulgaris*, haja vista que foi uma característica presente em todos os espaçamentos de plantio testados.

A menor densidade básica do lenho é uma característica desvantajosa para a produção energética, pois, quanto mais densa a madeira, maior será a quantidade de energia por unidade de volume e maior a produtividade de carvão vegetal por forno e melhores as propriedades do biorredutor. Há relatos na literatura da influência positiva da densidade da madeira nas propriedades físicas e mecânicas do carvão vegetal, destacando que essa característica do lenho deve ser considerada para a classificação de espécies visando plantios destinados à produção de biorredutor. Desta forma, fica evidente o efeito negativo da bifurcação na madeira de *T. vulgaris*, aos 87 meses, acarretando diminuição na sua densidade básica que poderá resultar em carvão vegetal com propriedades inferiores. No entanto, de acordo com os dados obtidos nesta experimentação, aos 102 meses, não há diferença na densidade básica de árvores bifurcadas e não bifurcadas. Além da rotação silvicultural, a idade deve ser considerada como fator importante nas alterações das propriedades da madeira.

O espaçamento de plantio não afetou significativamente o poder calorífico superior (PCS) da madeira de *T. vulgaris*, pois não foram detectadas diferenças nos teores de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre no lenho das árvores dessa espécie. Os valores reportados para o PCS

e para os componentes químicos elementares da madeira de *T. vulgaris* corroboram seu potencial energético, especialmente quando comparados com valores registrados na literatura para madeiras frequentemente utilizadas para essa finalidade, como àquelas do gênero *Eucalyptus*. A Figura 3 demonstra que os valores de PCS da madeira de *T. vulgaris* (4.720 cal g⁻¹) e *Eucalyptus* spp. (4.629 cal g⁻¹) são muito próximos. *T. vulgaris* apresentou valores de carbono (C = 49,8%) e hidrogênio (H = 6,3%) similares aos verificados para as madeiras de *Eucalyptus* spp. Ambas as madeiras apresentam valores de cinzas considerados baixos (≤ 1%).

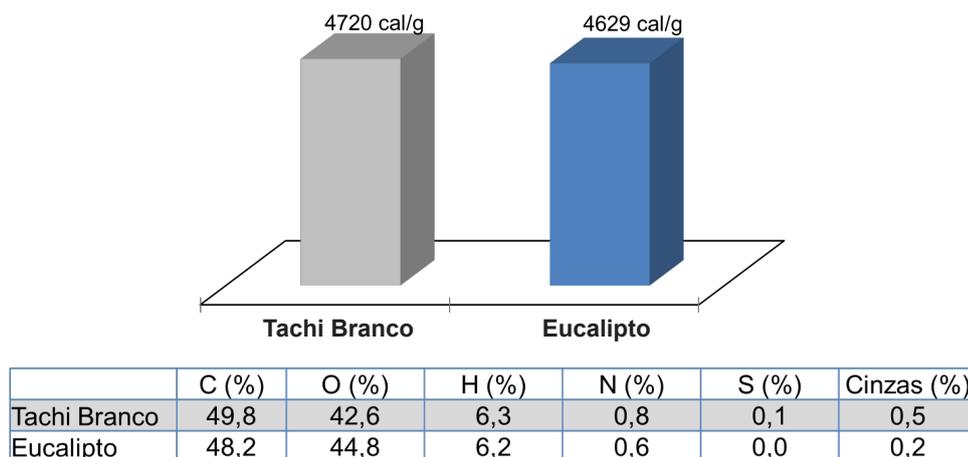


Figura 3. Poder calorífico e química elementar de madeira de *Tachigali vulgaris* e *Eucalyptus* spp.

Fontes: Protásio et al. (2019) e Silva et al. (2021b).

Madeiras com elevados valores de C e H tendem a liberar maior quantidade de energia durante a queima direta, pois esses elementos são combustíveis. Os valores de C e H são ligeiramente maiores que os reportados em madeiras de *Eucalyptus* spp., o que justifica os valores médios de PCS das madeiras comparadas e o potencial energético de *T. vulgaris*.

Efeitos do espaçamento de plantio sobre a produção e qualidade do carvão vegetal de *Tachigali vulgaris*

O espaçamento de plantio não influencia significativamente o rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RGC) produzido sob condições de laboratório (taxa de aquecimento = 1,67 °C min⁻¹ e temperatura final de carbonização = 450 °C). Por outro lado, o valor médio reportado para o RGC de madeiras de *T. vulgaris* (35,9%) é próximo aos valores reportados para *Eucalyptus* spp. (34,5%) e *Corymbia citriodora* (35,9%), demonstrando seu potencial para produção de carvão vegetal (Figura 4).

De acordo com Siqueira et al. (2020), o carvão da espécie *T. vulgaris*, proveniente de madeiras de áreas de Cerrado, apresentou densidade aparente (298 kg m⁻³), baixo teor de cinzas (1,14%), elevado teor de carbono fixo (76,32%) e PCS (7.615 cal g⁻¹). Considerando as mesmas condições de pirólise descritas anteriormente e, a partir do estudo de madeiras de *T. vulgaris* provenientes de áreas de Cerrado, Siqueira et al. (2020) reportaram RGC de 35%. Esse valor é próximo ao obtido para a carbonização de madeiras dessa espécie provenientes de florestas plantadas e indica que o rendimento da carbonização é pouco afetado pelos tratamentos silviculturais e idade.

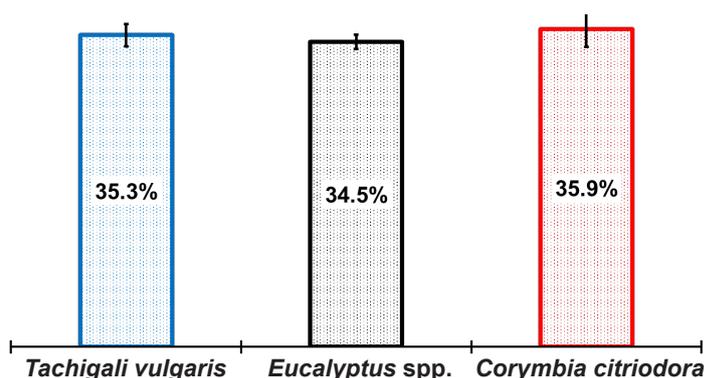


Figura 4. Rendimentos gravimétricos em carvão vegetal da carbonização de madeiras de *Tachigali vulgaris*, *Eucalyptus spp.* e *Corymbia citriodora*.

Fontes: Adaptado de Couto et al. (2015), Barros Junior (2020) e Protásio et al. (2021).

Valores elevados de RGC são importantes do ponto de vista econômico, especialmente quando a produção interfere diretamente nas receitas de uma unidade produtora de carvão vegetal, embora os resultados médios apresentados sejam de carbonizações realizadas em laboratório.

Além disso, Siqueira et al. (2020) destacaram que a carbonização de uma tonelada de madeira de *T. vulgaris* resultaria em produtividade de carbono fixo de 265 kg. Já Protásio et al. (2021) reportaram que a carbonização de uma tonelada de madeira de *Eucalyptus* jovens propiciaria a obtenção de 259 kg de carbono fixo, nas mesmas condições de processo. Dessa forma, pode-se constatar que os rendimentos gravimétricos da carbonização da madeira de tachi-branco e eucalipto são próximos e isso reforça o potencial dos reflorestamentos com árvores de *T. vulgaris* como excelente alternativa para o abastecimento das indústrias siderúrgicas da região Norte e Nordeste do Brasil. No entanto, conforme destacado por Trugilho et al. (2001) e Protásio et al. (2021), é fundamental a análise dos parâmetros de crescimento para a correta escolha de espécies, procedências, progênes ou clones para a produção de carvão vegetal siderúrgico. É necessário implementar o programa de melhoramento genético de *T. vulgaris* para a seleção de genótipos com maior densidade da madeira. Nesse aspecto, Siqueira et al. (2020) e Silva et al. (2021b) comentaram que a densidade da madeira da espécie é considerada baixa (493 kg m^{-3}) e, segundo Protásio et al. (2021), a carbonização de madeiras com densidade $< 500 \text{ kg m}^{-3}$ não favoreceu o uso eficiente do volume dos fornos retangulares. Segundo os autores, isso pode resultar na produção de carbono fixo até 10% menor, comparativamente a madeiras com densidade básica $> 550 \text{ kg m}^{-3}$.

Quanto ao tipo de fuste, os resultados das pesquisas recentes demonstraram que árvores bifurcadas apresentaram densidade da madeira e, conseqüentemente, densidade aparente do carvão vegetal inferior às árvores não bifurcadas, considerando a idade de 87 meses (Barros Júnior, 2020). A densidade aparente do carvão vegetal obtida a partir da madeira das árvores de múltiplos fustes foi 6,80% inferior ao observado para o carvão vegetal das árvores de fuste único (Barros Júnior, 2020). Além disso, há relação direta entre a densidade da madeira e a densidade aparente do carvão vegetal (Figura 5), ou seja, madeiras mais densas produziram carvões de maiores densidades, corroborando com o relatado por Trugilho e al. (1997). Esse resultado demonstra a relevância do tipo de fuste e, conseqüentemente, a densidade da madeira como características decisivas na classificação e seleção de espécies para a produção de carvão vegetal.

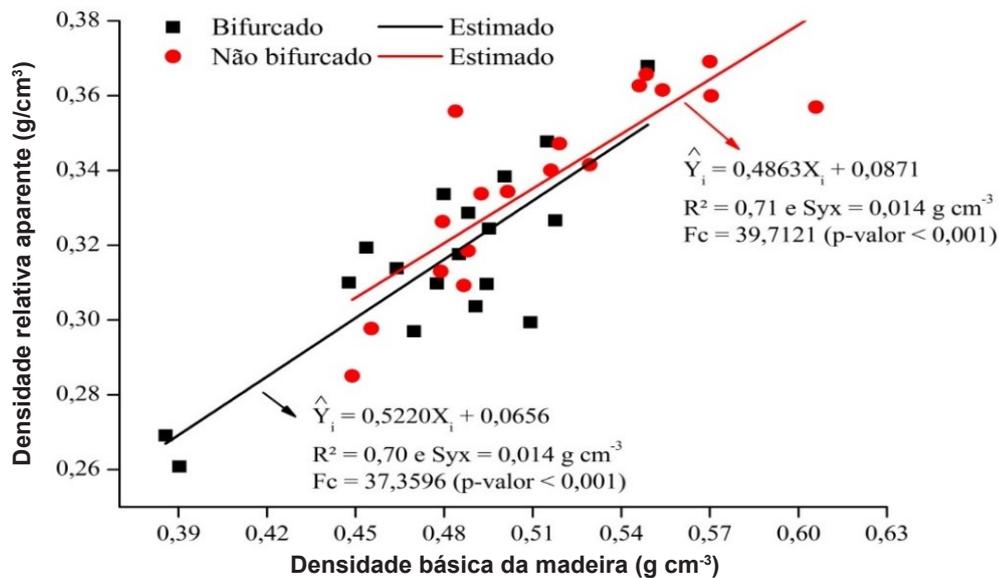


Figura 5. Efeitos da densidade da madeira e tipo de fuste na densidade relativa aparente do carvão de *Tachigali vulgaris*.

Fonte: Barros Júnior (2020).

As árvores de múltiplos fustes apresentaram maior variabilidade da densidade aparente do carvão vegetal, sendo uma característica indesejável. Para uso siderúrgico, deseja-se carvão vegetal com propriedades mais homogêneas e com maiores valores de densidade. A densidade relativa aparente é uma importante propriedade a ser considerada na destinação do carvão vegetal como biorreduzidor na siderurgia, pois quanto maior o seu valor, maior será a sua resistência à compressão e melhor será a ocupação do alto forno siderúrgico. Dessa forma, as árvores de fuste único, na idade de 87 meses, demonstraram apresentar melhor aptidão na produção de carvão vegetal.

Nas mesmas condições de pirólise, os carvões vegetais produzidos com madeira jovem de *T. vulgaris* e de clones de *Eucalyptus* apresentaram densidade relativa aparente de $0,327 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,347 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente (Barros Júnior, 2020; Protásio et al., 2021) (Figura 6). Isso significa que, em média, o carvão vegetal de tachi-branco apresentou densidade aparente 6% inferior ao relatado na literatura para o gênero *Eucalyptus*. Por outro lado, o carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Corymbia citriodora* apresentou, em média, densidade relativa aparente de $0,434 \text{ g cm}^{-3}$ (Couto et al., 2015), sendo, portanto, consideravelmente superior aos carvões de tachi-branco e eucalipto.

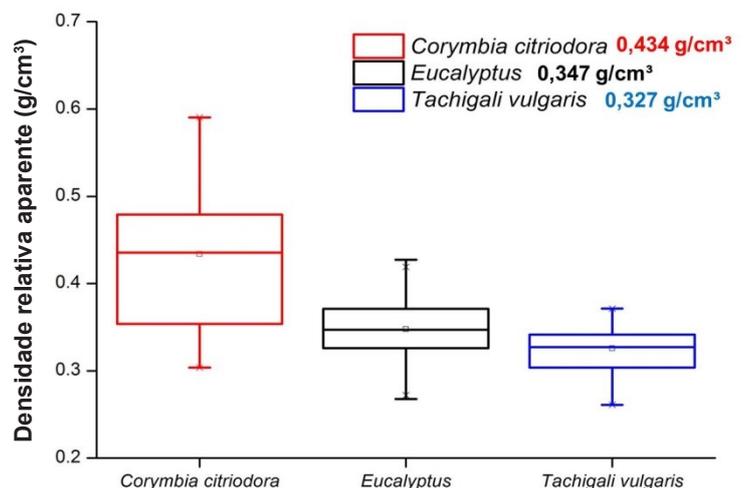


Figura 6. Densidade relativa aparente do carvão vegetal de madeiras de *Tachigali vulgaris*, *Eucalyptus* spp. e *Corymbia citriodora*, nas mesmas condições de pirólise (taxa de aquecimento = $1,67 \text{ °C min}^{-1}$, temperatura final de carbonização = 450 °C).

Fontes: Adaptado de Couto et al. (2015), Barros Júnior (2020) e Protásio et al. (2021).

Esses resultados podem ser explicados pelas diferenças de densidade da madeira das espécies. As madeiras de *T. vulgaris*, *Eucalyptus spp.* e *C. citriodora*, com aproximadamente sete anos de idade, apresentaram densidade básica média de 0,486 g cm⁻³, 0,534 g cm⁻³ e 0,606 g cm⁻³, respectivamente (Couto et al., 2015; Protásio et al., 2021; Barros Júnior et al., 2022).

Reis et al. (2012) relataram densidade aparente para o carvão vegetal da madeira de um clone de *Eucalyptus urophylla*, aos 84 meses, igual a 0,326 g cm⁻³. Os clones comerciais GG680 (*E. urophylla* x *E. grandis*), GG157 (*E. urophylla*) e GG100 (*E. grandis* x *E. urophylla*), aos 84 meses, avaliados por Castro et al. (2016), apresentaram carvão vegetal com densidade relativa aparente de 0,355 g cm⁻³, 0,322 g cm⁻³ e 0,330 g cm⁻³, respectivamente. Portanto, observa-se a similaridade da densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* com aquele produzido a partir da madeira de árvores não bifurcadas de *T. vulgaris*. Portanto, há evidências técnicas e científicas do potencial da espécie estudada para produção de carvão vegetal siderúrgico, pois, no Brasil, os clones de *Eucalyptus* são majoritariamente utilizados para redução do minério de ferro e produção de ferro gusa.

Perspectivas de estudos futuros com a espécie *Tachigali vulgaris*

As pesquisas deverão concentrar esforços ao esclarecimento dos efeitos de práticas silviculturais, como espaçamento, tipo de fuste e adubação, nas propriedades da madeira, no crescimento de árvores, no processo de carbonização e na qualidade do carvão vegetal de *T. vulgaris* proveniente de reflorestamentos na região Norte do Brasil. Além disso, os estudos voltados para a seleção de procedências e progênies de *T. vulgaris* devem ser priorizados, especialmente na estimativa de parâmetros genéticos que embasem os programas de melhoramento da espécie, além de estudar, por meio de marcadores moleculares e características morfológicas, a diversidade genética dos três testes de progênies instalados nas áreas do Grupo Jari, em Monte Dourado, PA.

Nos estudos de qualidade da madeira, o efeito da idade deve ser avaliado, pois sua influência nas características da madeira é consenso entre os pesquisadores e tem sido alvo de novas investigações nas últimas décadas, para o gênero *Eucalyptus*. No entanto, se referindo ao tachi-branco, essas informações são incipientes. Já os tratamentos silviculturais, como o espaçamento, podem influenciar a qualidade da madeira para produção de carvão vegetal siderúrgico, além de alterar a produção de massa seca por árvore, área basal, diâmetro e altura, tornando-se importante o estudo dessa variável para melhor aplicação das plantações florestais (Moulin et al., 2017). Outra problemática a ser solucionada nos plantios de *T. vulgaris* é a ocorrência da bifurcação do fuste que pode influenciar negativamente a densidade da madeira, conforme demonstrado em pesquisas recentes (Barros Júnior et al., 2022; Lima et al., 2022). Os trabalhos mais atuais têm indicado que a bifurcação das árvores de *T. vulgaris*, que ocorre entre 50-80 cm de altura do solo, pode ter causas predominantemente ambientais. No entanto, para esta espécie, são necessários mais estudos para compreender os possíveis efeitos da idade, do espaçamento de plantio e tipo de solo na ocorrência de árvores bifurcadas e o impacto dessa característica do fuste na qualidade da madeira.

Entende-se que é fundamental a consolidação da Rede de Pesquisa de Tachi-Branco que envolve diversos pesquisadores de várias e renomadas instituições brasileiras, cujo objetivo é fornecer subsídios para o uso energético da madeira da espécie *T. vulgaris* proveniente de plantações homogêneas e, assim, propiciar ganhos concretos na produção sustentável de lenha e carvão vegetal no estado do Pará e em toda a Amazônia. Há necessidade de expansão das pesquisas com a

qualidade da madeira de tachi-branco, especialmente a partir da caracterização anatômica, física e química do lenho e dos anéis de crescimento da espécie. Esses estudos permitirão planejar com maior acurácia as decisões técnicas de empresas que visam implantar plantios comerciais com o tachi-branco. Ademais, as dissertações e teses que serão realizadas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia (PPGCF/Ufra) e no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (PPGCTM/Ufla) fornecerão subsídios reais para o cumprimento dos objetivos e metas estabelecidos neste projeto. Cabe salientar que as instituições executoras e colaboradoras dessa rede de pesquisa irão utilizar de forma coesa, organizada e complementar, os seus laboratórios, visando garantir o cumprimento dos objetivos estabelecidos e, conseqüentemente, o alcance da meta global do projeto. Além disso, os centros de excelência representados pelos coautores deste trabalho apresentam pesquisadores renomados em suas áreas de atuação, que ajudarão na criação, implantação e consolidação dessa colaboração mútua e permitirão uma abordagem multidisciplinar de elevado padrão científico/tecnológico. Dessa forma, por meio do intercâmbio de pesquisadores e colaboradores, diversas análises do lenho de *T. vulgaris* poderão ser executadas nas instituições nacionais parceiras. A soma de esforços para a realização das atividades desejadas, de forma multilaboratorial, interinstitucional e intrainstitucional, permitirá minimizar os riscos de fracasso na execução dos objetivos e metas almejados em áreas inovadoras desta pesquisa.

Finalmente, essas iniciativas compreendem os próximos passos para a consolidação e o desenvolvimento dessa importante espécie nativa da Amazônia, para a composição de florestas energéticas visando ao abastecimento do Polo Siderúrgico de Carajás, uma vez que os reflorestamentos com espécies do gênero *Eucalyptus* são incipientes na região. Estudos futuros devem ser realizados para: i) analisar os efeitos do espaçamento e níveis de nutrição nos parâmetros de crescimento da árvore; ii) caracterizar as propriedades do lenho do tachi-branco utilizando técnicas convencionais e modernas; iii) determinar as práticas silviculturais para a implantação comercial do tachi-branco e propor estratégias para a maximização da produtividade de biomassa para geração de energia; iv) compreender a influência da bifurcação do fuste nos índices de qualidade da madeira e v) verificar a possibilidade de uso do carvão vegetal de tachi-branco como biorredutor nos processos siderúrgicos do Polo de Carajás.

Considerações finais

O acréscimo da idade do plantio de 87 meses para 102 meses resultou em aumento da densidade básica da madeira, o que é importante, em termos de melhoria da qualidade, para a produção de carvão vegetal.

Há efeito significativo do espaçamento de plantio na densidade básica da madeira de *T. vulgaris*, aos 87 meses, em que o acréscimo da área útil por planta proporcionou aumento da densidade do lenho. Para as árvores aos 102 meses de idade, entretanto, não há efeito do espaçamento na densidade da madeira.

Para obter madeiras mais densas e adequadas à produção de carvão vegetal, independente do espaçamento de plantio, deve-se considerar a idade ideal de colheita das árvores de tachi-branco.

O espaçamento inicial de plantio não influenciou os rendimentos gravimétricos da carbonização e a qualidade do biorredutor, mas foi observado efeito significativo deste fator na densidade aparente do carvão vegetal.

Os resultados encontrados a partir das carbonizações, em escala de laboratório, demonstraram potencial da espécie *T. vulgaris* na produção de carvão vegetal com propriedades químicas e físicas similares ao carvão vegetal de *Eucalyptus*, amplamente utilizado nos pólos siderúrgicos do Brasil.

Considerando as propriedades da madeira e do carvão vegetal, indica-se o espaçamento 3 m x 3 m (9,0 m² planta⁻¹) para a espécie *T. vulgaris* visando à produção de florestas energéticas.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo nº 306793/2019-9), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes; códigos de financiamento 001, nº 88887.199858/2018-00), e Edital Procad Amazônia 2018 - processo nº 88881.199859/2018-01), à Embrapa Amazônia Oriental, ao Grupo Jari e ao Laboratório Multiusuário de Biomateriais e Energia da Biomassa da Ufla pelo financiamento da pesquisa.

Aos discentes do Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Ufra, Câmpus de Parauapebas: Wilson Alan Santos do Rosário, Reynaldo Melo Koury Sobrinho, Rita de Cássia Carvalho Silva e Evelyn Poliana Santos Patrício, que defenderam seus trabalhos de conclusão no âmbito da “Rede de Pesquisa Tachi-Branco”, no período de 2019-2021.

Aos discentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Ufra: Marilene Olga dos Santos e Silva, Udson de Oliveira Barros Júnior, Rafaela Patrícia da Silva Ceretta e Roberthi Alef Costa Teixeira, que defenderam suas dissertações no âmbito da “Rede de Pesquisa Tachi-Branco”, no período de 2018-2021.

Os trabalhos de conclusão de curso e dissertações supracitados foram fundamentais para a consolidação da “Rede de Pesquisa Tachi-Branco” e, conseqüentemente, apresentação deste trabalho.

Referências

- BARROS JÚNIOR, U. O. ***Tachigali vulgaris* em plantios homogêneos na Amazônia**: parâmetros de crescimento, madeira e carvão vegetal para fins energéticos. 2020. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas.
- BARROS JÚNIOR, U. O.; ROSÁRIO, W. A. S.; LIMA, M. D. R.; SILVA, M. O. S.; PATRÍCIO, E. P. S.; GONCALVES, D. A. de; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. de P. Tree spacing, and forking modify the wood density of *Tachigali vulgaris* in a trial planted in Amazonia for energy purposes. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 34, n. 1, p. 11-23, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.11>.
- CAMPOS-FILHO, E. M. **Coleção Plante as árvores do Xingu e Araguaia**: volume II, guia de identificação. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009. 304 p.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, A. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. Correlations between age, wood quality and charcoal quality of *Eucalyptus* clones. **Revista Árvore**, v. 40, n. 3, p. 551-560, 2016.

- COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. de P. Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.7>.
- CRUZ, S. L.; PEDROZO, C. Â.; OLIVEIRA, V. X. A.; SILVA, A. M.; RESENDE, M. D. V. de; GONÇALVES, D. de A. Parâmetros genéticos e seleção inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) em Roraima. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 258-269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831631>.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A. da; SOUZA, V. Q. de; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1424-1431, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130177>.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JÚNIOR, B. H. Survival, and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- GUIMARÃES, Z. T. M.; SANTOS, V. A. H. F.; NOGUEIRA, W. L. P.; MARTINS, N. O. A.; FERREIRA, M. J. Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 618-628, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.048>.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2021**. Brasília, DF: IBÁ, 2021. 93 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>.
- LIMA, M. D. R.; MORAES, L. G.; SILVA, R. C. C.; BARROS JUNIOR, U. O.; BUFALINO, L.; SOARES, A. A. V.; ASSIS-PEREIRA, G.; GONÇALVES, D. A.; TOMAZELLO-FILHO, M.; PROTÁSIO, T. P. *Tachigali vulgaris* energy forests: understanding spacing, age, and stem type effects on tree growth patterns and wood density. **New Forests**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09932-y>.
- MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F.) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-Online.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MELO, J. T.; HARIDASAN, M. **Resposta de mudas de carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum* Vog. Leguminosae) a doses de N, P, K, Ca e Mg**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 278). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75862/1/bolpd-278.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MOULIN, J. C.; ARANTES, M. D. C.; OLIVEIRA, J. G. L. D.; CAMPINHOS, E.; GOMES, F.; VIDAURRE, G. B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do eucalipto. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00073914, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.073914>.
- OLIVEIRA, I. R. M.; VALE, A. T.; MELO, J. T.; COSTA, A. F.; GONÇALVEZ, J. C. Biomassa e características da madeira de *Sclerolobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 351-357, 2008.
- PATRÍCIO, E. P. S. **Compreensão dos efeitos de espaçamento e idade na produtividade e ocorrência de bifurcação em plantações de *Tachigali vulgaris* com finalidade energética**. 2021. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas.
- PROTÁSIO, T. de P.; SCATOLINO, M. V.; ARAÚJO, A. C. C.; OLIVEIRA, A. F. C. F.; FIGUEIREDO, I. C. R.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Assessing proximate composition, extractive concentration, and lignin quality to determine appropriate parameters for selection of superior *Eucalyptus* firewood. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 3, p. 629-641, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10004-x>.
- PROTÁSIO, T. de P.; LIMA, M. D. R.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; FIGUEIREDO, I. C. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34-45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.057>.
- PROTÁSIO, T. de P.; SCATOLINO, M. V.; LIMA, M. D. R.; ARAÚJO, A. C. C.; FIGUEIREDO, I. C. R.; BUFALINO, L.; TRUGILHO, P. F. Insights in quantitative indexes for better grouping and classification of *Eucalyptus* clones used in combustion and energy cogeneration processes in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 143, 105835, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105835>.
- REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de local e espaçamento na qualidade do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 497-505, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4322/floram.2012.055>.

RODRIGUES, R. P.; GONÇALVES, D. de A.; SILVA, A. R.; MARTINS, W. B. R.; DIONÍSIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G. Crescimento e mortalidade de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima em diferentes espaçamentos de plantio para a produção de biomassa. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.01>.

SEREGHETTI, G. C.; LANÇAS, K. P.; SARTORI, M. S.; REZENDE, M. A.; SOLER, R. R. Effect of spacing on *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* growth and wood basic density in short cycle plantation. **Energia na Agricultura**, v. 30, p. 257-262, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p257-262>.

SILVA, D. A.; MULLER, B.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.677>.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONÇALVES, D. de A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Características termogravimétricas e combustão da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente de plantios com diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, e3164, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.01>.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, A. R.; GONÇALVES, D. de A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 211-224, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01068-8>.

SILVA, R. C. C. **Variabilidade dendrométrica e qualidade da madeira de *Tachigali vulgaris* para produção de biomassa para energia na Amazônia**. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas.

SIQUEIRA, H. F.; PATRÍCIO, E. P. S.; LIMA, M. D. R.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. de P. Avaliação de três madeiras nativas do cerrado goiano visando à utilização energética. **Nativa**, v. 8, n. 5, p. 615-624, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.10338>.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176297/1/cap01.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; OLIVEIRA, J. M. F. Crescimento e qualidade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201801569>.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr97/cap02.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R.; REGAZZI, A. J.; GOMIDE, J. L. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 259-267, 1997.

Bloco 4

**Seleção genética de *Tachigali vulgaris* para
plantações homogêneas e
recuperação de áreas degradadas**

Melhoramento genético de *Tachigali vulgaris* para plantações homogêneas: análise de um teste de procedências e progênies aos dez anos de idade

Daniele Aparecida Alvarenga Arriel
Keyla Maria Nunes e Silva
Ana Carolina Pereira
Thiago de Paula Protásio
Delman de Almeida Gonçalves

Introdução

O *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima, popularmente conhecido como tachi-branco ou carvoeiro, é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, que ocorre naturalmente em uma ampla região dos biomas da Amazônia, Caatinga e do Cerrado. Sua madeira apresenta características muito atrativas para a produção bioenergética (Orellana et al., 2018), além de outros usos múltiplos, com possibilidade para ser utilizada nos segmentos industriais de móveis, de produção de lâminas, na confecção de mourões e esteios, na construção civil e embalagens (Orellana, 2015; Tonini et al., 2018).

O tachi-branco se destaca pela sua capacidade de associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*, responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio (Silva et al., 2016), sendo indicado para o enriquecimento de capoeiras, composição de sistemas agroflorestais e plantios homogêneos e, também, para promover o estabelecimento de cobertura florestal e recuperação de ambientes degradados (Orellana et al., 2018).

Mesmo cultivada sem tecnologia avançada e sem passar por programas de melhoramento, a espécie cresce rapidamente e produz grandes quantidades de biomassa (Carpanezi et al., 1983; Farias et al., 2016). Assim, tem grande potencial para cultivo em plantações comerciais e sua madeira apresenta características compatíveis à madeira do eucalipto, espécie atualmente mais cultivada no País (Orellana et al., 2018; Tonini et al., 2018).

Apesar do seu potencial, principalmente para fins energéticos, há um reduzido número de estudos voltados para a silvicultura e o manejo da espécie. Desta forma, a aplicação de boas práticas silviculturais associadas ao uso de material genético superior, obtido a partir de programas de melhoramento, poderá auxiliar no estabelecimento de plantios florestais de tachi-branco em escala produtiva (Cruz, 2017).

No que diz respeito ao melhoramento da espécie, os estudos ainda são muito incipientes. Existem algumas informações relacionadas à sua biologia produtiva, sendo classificada como uma espécie alógama, com inflorescência amarela terminal do tipo paniculiforme hermafrodita, tipicamente melitófila não seletiva, podendo também ser polinizada por dípteros e vespas (Venturieri et al., 1999). Testes genéticos em campo indicam a possibilidade de seleção e perspectivas favoráveis de ganhos com a seleção (Farias Neto et al., 1998, 2003; Farias Neto; Castro, 1999, 2000; Cruz et al., 2020).

Dessa forma, a fim de contribuir com as pesquisas sobre melhoramento genético, objetivou-se neste estudo estimar parâmetros genéticos e praticar a seleção para as características: sobrevivência, bifurcação e incremento médio anual em um teste de procedências e progênies de *T. vulgaris* com dez anos de idade instalado no estado do Pará.

Metodologia

Localização e implantação do experimento

O teste de procedências e progênies de *T. vulgaris* foi implantado em maio de 2011 e está localizado na região do Vale do Jari, no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, no estado do Pará, nas coordenadas 0°51'35,28"S e 52°57'48,28"O e altitude de 65 m (Figura 1).

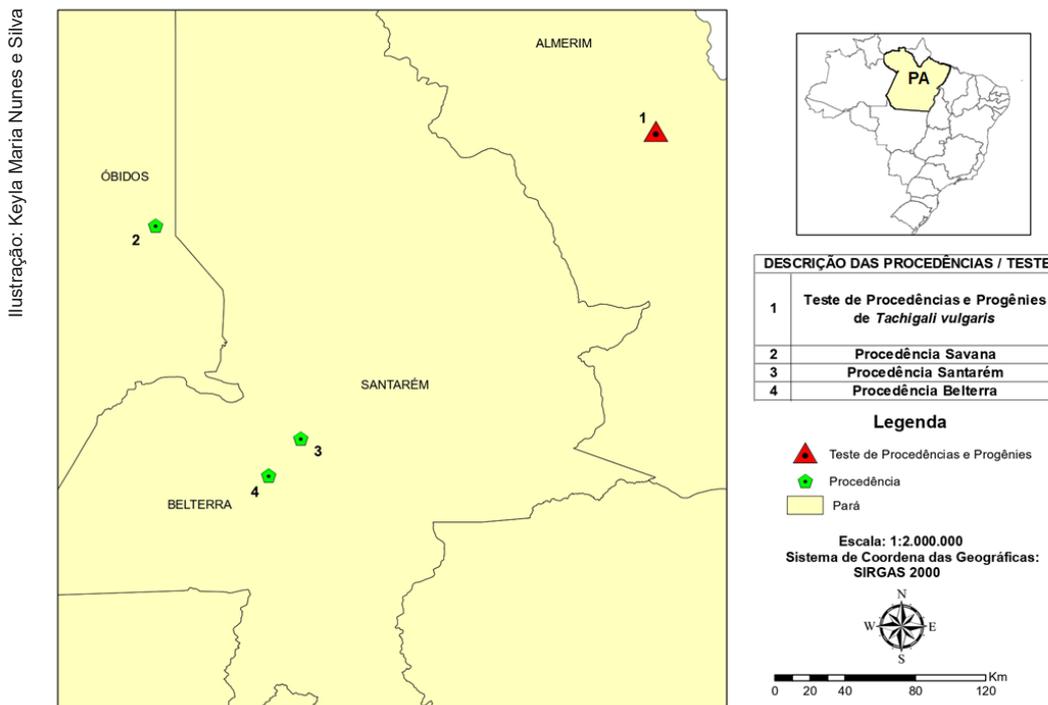


Figura 1. Localização do teste de procedências e progênies de *Tachigali vulgaris* com algumas das procedências indicadas e, para as demais, as informações não estão disponíveis.

A vegetação que caracteriza a região é a Floresta Ombrófila Densa que é predominante do Bioma Amazônico. Esta região é caracterizada pelo clima do tipo Am de Köppen. O regime pluviométrico se caracteriza por uma curta estação seca, nos meses de agosto a dezembro e uma estação chuvosa nos meses de janeiro a julho. A temperatura média anual é de 26 °C. A umidade média relativa do ar é 80% e a precipitação pluviométrica média anual é 2.115 mm (Alves; Miranda, 2008). O solo do local de implantação do experimento é do tipo Latossolo Amarelo com textura argilosa média (Santos et al., 2018).

Antes da implantação dos testes, foi realizada a limpeza manual do terreno e o controle químico de formigas. O preparo do solo para o plantio consistiu na prática de enleiramento e, posteriormente, realização de subsolagem com o uso de trator de esteira. Foi realizada adubação de base com 500 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo, pelo método de aplicação em sulco. Após o plantio foi realizada a adubação de cobertura com 217 kg ha⁻¹ de NPK 6-30-6 na cova, por planta, manualmente na linha de plantio, seguida de outra adubação de 129,3 kg ha⁻¹ de NPK 15-00-30, aos quatro meses após o plantio e 180,3 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo, aos 14 meses após o plantio.

Materiais genéticos e delineamento experimental

Para compor o teste, foram utilizadas 60 progênies de polinização aberta de *T. vulgaris*, advindas de cinco procedências diferentes (Tabela 1 e Figura 1). O experimento foi montado em delineamento de blocos ao acaso com seis plantas por parcela, quatro blocos, espaçamento de 3,5 m x 2,6 m, sem bordadura.

Tabela 1. Número de procedências e progênies de *Tachigali vulgaris* plantadas em experimento no município de Almeirim, PA.

Procedências	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Quantidade de progênies
Belterra	02°38'32,8"	54°56'35,1"	14
Buritizal	*	*	10
Macapá	*	*	5
Santarém	02°27'09,8"	54°46'21,1"	18
Savana	01°11'58,6"	55°29'11,7"	13
Total			60

* Coordenadas geográficas não disponíveis.

Coleta de dados

Aos dez anos de idade, foram mensuradas as características: diâmetro à altura do peito, altura, bifurcação e sobrevivência de todas as plantas do teste. O volume individual por planta foi estimado por meio da equação (1) (Ramos et al., 2021):

$$V = e^{-9,164635} + 1,912123 Lndeq + 0,751405 Lnh \quad (1)$$

em que:

V = volume, em m³, de madeira com casca até diâmetro mínimo de 5 cm;

Deq = diâmetro equivalente da j -ésima árvore (cm), medida a 1,30 m acima do solo;

n = número de troncos do j -ésimo árvore. Nesta situação, a altura das árvores bifurcadas corresponde à altura do tronco mais alto;

$$deq = i = 1nd^2$$

h = altura, em m, total da árvore. Em uma árvore com vários fustes, é a altura do fuste mais alto;

e = exponencial.

O volume estimado foi utilizado para estimar a característica incremento médio anual de volume de madeira (IMA) em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ aos 10 anos de idade. Para avaliar a variável bifurcação, foi feita uma análise com dados binários, em que 1 representava um indivíduo bifurcado ou com mais de dois fustes e 0 não bifurcado. O mesmo procedimento foi realizado para sobrevivência, sendo utilizado 1 para um indivíduo vivo e 0 para um indivíduo morto.

Medições em anos anteriores também foram realizadas. No entanto, os dados de bifurcação não foram coletados e, assim, optou-se por analisar os dados na idade em que esta variável foi medida.

Análise de dados

As características IMA de volume de madeira, bifurcação e sobrevivência foram utilizadas para estimar parâmetros genéticos e praticar a seleção de genótipos superiores de tachi-branco.

As estimativas de componentes de variância e parâmetros genéticos foram obtidas pelo procedimento REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não Viciada), através do *software* genético-estatístico Selegen- REML/BLUP. Para tanto, foi utilizado o Modelo 5 que compreende o estudo de progênies de polinização aberta com várias plantas por parcela, várias populações, em delineamento de blocos ao caso e avaliadas em um só local (Resende, 2007):

$$y = Xr + Za + Wp + Ts + e$$

em que:

y = vetor de dados;

r = vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;

a = vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (assumidos como aleatórios);

p = vetor dos efeitos de parcela (assumidos como aleatórios);

s = vetor dos efeitos de população ou procedência (aleatórios);

e = vetor de erros ou resíduos(aleatórios);

X , Z , W e T = representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Para avaliar a significância dos efeitos do modelo genético, utilizou-se a análise de deviance, empregando-se o teste da Razão da Máxima Verossimilhança (LTR) a 1% e a 5% de significância.

Foram estimados os seguintes componentes de variância: variância genética aditiva, variância ambiental entre progênies, variância genética entre procedências, variância residual dentro de parcelas e variância fenotípica individual. Os parâmetros genéticos estimados foram: herdabilidade individual no sentido restrito, herdabilidade da média de progênies, acurácia da seleção de progênies, coeficiente de determinação dos efeitos de parcela, coeficiente de determinação dos efeitos de procedência, coeficiente de variação genética aditiva individual, coeficiente de variação genotípica entre progênies, coeficiente de variação experimental, coeficiente de variação relativa e a média geral.

Seleção das melhores procedências, progênies e genótipos

A seleção foi realizada para diferentes intensidades e unidades de seleção: seleção das melhores procedências, com a seleção daquelas que contribuíram para um aumento da média no caso IMA de volume de madeira e diminuição no caso da bifurcação e, também, seleção das 20 melhores progênies para IMA e sobrevivência. Neste caso, foi feito ainda um ordenamento adicional para as progênies, resultante da multiplicação dos valores genótipos preditos para o IMA pelos valores genotípicos preditos da sobrevivência. Esse procedimento foi adotado para verificar se a elevada taxa de mortalidade encontrada para algumas progênies superestimava as suas produtividades, uma vez que o volume de cada árvore é estimado individualmente e árvores que eventualmente tem uma alta taxa de plantas mortas ao seu redor poderiam vir a crescer mais devido à falta de competição. Por fim, foi feita a seleção dos melhores indivíduos para IMA com base no valor genético aditivo. Posteriormente, foi estimado o ganho de seleção para todas as situações.

Resultados e discussão

O efeito de procedências foi significativo a 1% e 5% de probabilidade apenas para IMA e sobrevivência, indicando maiores perspectivas de ganhos com a seleção de diferentes procedências e que a variação entre procedências ou populações foi mais acentuada do que dentro de populações para estes caracteres. O efeito de progênies, entretanto, foi significativo a 5 % de probabilidade apenas para sobrevivência (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de deviance para incremento médio anual de volume de madeira ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$), sobrevivência (%) e bifurcação do teste de procedências e progênies de *Tachigali vulgaris* aos dez anos, no município de Almeirim, PA.

Efeitos	IMA		Sobrevivência		Bifurcação	
	Deviance	LRT	Deviance	LRT	Deviance	LRT
Progênie	6.355,12	1,97	-597,27	5,37*	-520,61	0,05
Procedência	6.366,85	13,35**	-602,25	0,39	-510,98	9,58**
Modelo	6.353,15		-602,64		-520,56	

Qui-quadrado tabelado para um grau de liberdade: 3,84 e 6,63, para níveis de significância de 5% e 1%, respectivamente. * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Outros testes de progênies de *T. vulgaris* avaliados, em idades diferentes das deste estudo, identificaram significâncias dos efeitos de progênies para características relacionadas ao crescimento, como altura e diâmetro à altura do peito em um teste aos quatro anos (Farias Neto; Castro, 1999), altura, DAP e biomassa em um teste de progênies aos oito anos (Farias Neto et al., 1998; Farias Neto; Castro, 2000). No entanto, fatores como delineamento, idade do material genético e a composição dos genótipos amostrados para o teste podem influenciar na manifestação da variabilidade genética, o que pode ter levado a divergência entre os resultados encontrados.

A média de sobrevivência foi 56% (Tabela 3) e não variou muito em relação às diferentes procedências, sendo que a procedência de Santarém obteve a maior média (59%) e, Macapá, a menor (50%). Em relação às progênies, os valores variaram de 81% (Progênie 31) a 24% (Progênie 24).

Tabela 3. Parâmetros genéticos para sobrevivência (%), incremento médio anual de volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e bifurcação no teste de procedências e progênies de *Tachigali vulgaris*, aos dez anos, no município de Almeirim, PA.

Parâmetros genéticos	Sobrevivência	IMA	Bifurcação
Variância aditiva das procedências	0,0327	67,6230	0,0018
Variância ambiental entre parcelas	0,0142	5,4235	0,0048
Variância entre procedências	0,0024	40,0643	0,0063
Variância residual dentro de parcelas	0,1959	729,8335	0,1827
Variância fenotípica	0,2451	842,9443	0,1955
Herdabilidade individual no sentido restrito	0,1335+/- 0,0545	0,0800 +/-0,0577	0,0091 +/- 0,0187
Herdabilidade da média de progênies	0,5098	0,3699	0,0582
Acurácia da seleção de progênies	0,7140	0,6082	0,2413
Coeficiente dos efeitos de parcela	0,0578	0,0064	0,0244
Coeficiente dos efeitos de procedências	0,0097	0,0475	0,0321
Coeficiente de variação genética aditiva individual (%)	32,0488	16,7826	5,7604
Coeficiente de variação genotípica entre progênies (%)	16,0242	8,3913	2,8802
Coeficiente de variação residual (%)	39,9667	23,7578	25,7391
Coeficiente de variação relativa	0,8019	0,7064	0,2238
Média geral	0,56	49,00	0,73

*IMA: incremento médio anual de volume de madeira.

Os valores médios encontrados estão próximos aos observados em um teste de progênies de tachi-branco, aos 18 meses de idade, no qual a taxa média de sobrevivência, já nesta idade mais jovem, foi de 50,68% (Cruz et al., 2020).

Diversos fatores podem estar relacionados à baixa taxa de sobrevivência encontrada, tais como a adaptação dos genótipos ao local do teste, a necessidade de tratamentos silviculturais mais específicos em nível de material genético, os possíveis processos de endogâmicos, os fatores relacionados à qualidade das mudas, o manejo florestal adotado, o espaçamento de plantio, entre outros. Como as informações relacionadas aos aspectos silviculturais e ao manejo da espécie ainda são relativamente escassas, estudos recentes ou que estão sendo desenvolvidos (Silva et al., 2016; Abreu et al., 2017; Souza et al., 2019; Barros Júnior, 2020; Ramos et al., 2021) e que podem auxiliar em uma maior expressão do potencial genético dos materiais testados devem ser empregados no estabelecimento de testes futuros, a fim de se avaliar a possibilidade de identificar genótipos com maior taxa de sobrevivência.

O IMA de volume de madeira, aos dez anos, foi $49 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A procedência de Belterra apresentou o maior valor de IMA ($56 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e, Savana, foi aquela que apresentou o menor valor ($41 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Em nível de genitor, o maior valor de IMA foi $65 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Genitor 9), enquanto o valor mais baixo foi $37 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (Genitor 46). É difícil comparar a produtividade média obtida neste teste com espécies que poderiam ser utilizadas para fins bioenergéticos como *Eucalyptus spp.*, uma vez que para este gênero o corte para tais finalidades é realizado por volta dos sete anos, com uma produtividade média de $35 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (IBÁ, 2020). Assim, seria importante que as análises fossem conduzidas em idades semelhantes para fins comparativos. Pesquisas recentes indicam que a produtividade média de tachi-branco pode variar entre $26\text{-}30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, em diferentes espaçamentos sob condições experimentais aos onze anos, resultados inferiores à média encontrada neste trabalho. Estas pesquisas apontaram, ainda, idades técnicas de corte, com base na maior produção média em volume, por volta dos 5-6 anos. Dessa forma, recomenda-se que

futuros testes genéticos sejam analisados também nesta idade, a fim de selecionar materiais mais produtivos para a idade rotacional indicada para a espécie.

Uma característica comum no tachi-branco é a presença de bifurcação ou mais de dois fustes. A percentagem de indivíduos vivos que apresentaram, pelo menos, dois fustes foi 73%. Na procedência de Belterra, cerca de 80% das plantas foram bifurcadas. Esta característica não é desejada em espécies florestais mais plantadas no País, como pinus e eucalipto, pois usualmente se dá prioridade a fustes retilíneos e únicos. Além disso, a bifurcação pode trazer dificuldades para a colheita mecanizada e diminuir a densidade básica e a densidade relativa aparente do carvão vegetal, aumentando o consumo específico da madeira (Barros Júnior, 2020).

Os coeficientes de determinação de efeito de parcela foram abaixo de 10% para todos os caracteres (Tabela 3), indicando boa precisão experimental (Resende, 2002). Os coeficientes de variação genética aditiva individual e de variação genotípica entre progênies expressam a variação genética existente em relação à média geral. Estes valores foram maiores para sobrevivência, seguido do IMA de volume de madeira e da bifurcação.

Em nenhuma das características avaliadas, o coeficiente de avaliação relativa foi superior a 1, o que apontaria maiores perspectivas de ganho com a seleção, pois assim a proporção da variação genética seria maior do que a ambiental. No entanto, para sobrevivência e IMA, as estimativas de acurácia da seleção de progênies se apresentaram de altas à médias magnitudes (Resende; Duarte, 2007), respectivamente, gerando mais confiabilidade na seleção. A acurácia da sobrevivência também foi de baixa magnitude. Isso era esperado devido à baixa variação genética em relação à ambiental para este caráter.

As herdabilidades individuais foram baixas para os três caracteres avaliados. No entanto, as herdabilidades na média de progênies foram de altas e médias magnitudes para sobrevivência e IMA, respectivamente. Assim, maiores ganhos são esperados com a seleção baseada nas médias das progênies. Para a bifurcação, a herdabilidade foi praticamente nula, demonstrando um baixo controle genético e um grande efeito ambiental na manifestação deste caráter e, conseqüentemente, maior dificuldade em se praticar o melhoramento neste caso. Valores de maior magnitude para herdabilidade na média de progênies foram encontrados para diâmetro à altura do peito (0,88), altura (0,89) e biomassa (0,90) em um teste de progênies de tachi-branco aos oito anos (Farias Neto; Castro, 2000; Farias Neto et al, 2003).

De forma geral, os parâmetros genéticos indicaram perspectivas maiores de ganho para sobrevivência e IMA, respectivamente. Isso é decorrente da maior variabilidade genética encontrada para estes caracteres no presente estudo. Conforme já mencionado, uma maior expressão da variabilidade genética pode estar relacionada a vários fatores como idade e variação genética captada nas procedências e progênies utilizadas no teste, entre outros. Assim, estes fatores devem ser considerados na elaboração de novos testes genéticos visando aumentar as perspectivas de ganhos para os caracteres de interesse para o melhoramento da espécie. Estudos com marcadores moleculares que busquem elucidar a distribuição da variação genética da espécie entre e dentro de populações também poderiam auxiliar na elaboração destes novos testes a fim de captar maior variabilidade.

A seleção das melhores procedências foi realizada apenas para as características que tiveram efeito significativo na análise de deviance: IMA e sobrevivência. Em relação ao IMA, foram selecionadas as três procedências que contribuíram para um aumento deste caráter em relação à média geral. O ganho estimado com a seleção foi 7,53% (Tabela 4). Conforme já comentado, Belterra foi o local

com maior IMA e, assim, o mais indicado para a coleta de sementes visando plantios com maior volume em condições ambientais similares aquelas de Almeirim, PA. Em relação à bifurcação, a seleção foi realizada no sentido de diminuir a média para este caráter. As duas procedências que apresentaram médias inferiores à média geral foram Buritizal e Savana. E o ganho estimado foi de 9,58% (Tabela 4). No entanto, mesmo com a seleção, a média de bifurcação média esperada seria acima de 60%.

Tabela 4. Ganho com a seleção das melhores procedências para incremento médio anual de volume de madeira (IMA, $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) e para sobrevivência (%) no teste de procedências e progênes de *Tachigali vulgaris* aos dez anos, no município de Almeirim, PA.

Procedências	IMA		
	Valor genotípico	Nova média	Ganho (%)
Belterra	56,1096	56,1096	14,91
Macapá	52,1482	54,1289	10,70
Santarém	49,6229	52,6260	7,53
Bifurcação			
Buritizal	0,6272	0,6222	14,77
Savana	0,6922	0,6597	9,58

Embora o efeito de progênes tenha sido significativo apenas para sobrevivência, a seleção para este caráter também foi feita para IMA a fim de identificar as matrizes mais indicadas para a coleta de sementes ou para o uso de eventuais de sementes remanescentes. O ganho com a seleção das 20 melhores progênes foi de 14,72% para IMA e 22,61% para sobrevivência (Tabela 5). Grande parte das progênes selecionadas para IMA são da procedência de Belterra. Isso era esperado devido ao efeito significativo de procedência para este caráter, uma vez que o valor genético da procedência está somado ao da sua respectiva progêne. Fazendo a multiplicação do IMA pela sobrevivência, observa-se um ganho de 26,09% com a seleção das 20 melhores progênes. Observa-se, ainda, que as progênes 9, 2, 19, 23 e 50 aparecem dentre as 20 melhores para o IMA e com a multiplicação do IMA pela sobrevivência o que indica que elas são progênes com alto IMA e taxa de sobrevivência. Esta correção é importante para evitar superestimativas de produtividade que podem estar relacionadas às condições ambientais do teste. A média geral corrigida de IMA foi de $27,66 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, valores mais próximos aos estimados em um outro estudo avaliando a produtividade de tachi-branco em diferentes espaçamentos aos 11 anos.

A seleção em nível individual foi feita para IMA para valores aditivos, a fim de identificar os melhores indivíduos para serem mantidos no teste caso ele fosse convertido em um pomar de sementes por mudas (PSM) ou um pomar clonal de sementes (PCS), em uma eventual propagação vegetativa destes indivíduos. A intensidade de seleção foi realizada de forma a manter um tamanho efetivo mínimo (N_e) de 30. O ganho com a seleção de 101 indivíduos ($N_e = 30$) foi de 20,37% e a média $58,98 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$. Embora esta situação não tenha sido simulada, no caso de seleção para valores genotípicos totais em uma possível clonagem em larga escala destes genótipos, existem indivíduos bifurcados cujo volume individual estimado foi de $180 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$ e, outros de fuste único, com valores de $88 m^3 ha^{-1} ano^{-1}$.

Tabela 5. Ganho com a seleção das melhores procedências para incremento médio anual de volume de madeira (IMA, m³ ha⁻¹ ano⁻¹), sobrevivência (SOB, %) e para o IMA multiplicado pela sobrevivência no teste de procedências e progênies de *Tachigali vulgaris* aos dez anos, no município de Almeirim, PA.

Ordem	IMA			SOB			IMA X SOB				
	Genitor/ Procedência	Ganho	Ganho (%)	Genitor/ procedência	Ganho	Ganho (%)	Genitor/ procedência	IMA *sobrevivência	Nova média	Ganho	Ganho (%)
1	9 (BE)	16,22	33,10	31 (SA)	0,24	43,94	9 (BE)	46,32	46,31	18,66	67,48
2	50 (BE)	15,43	31,48	29 (BE)	0,24	43,55	29 (BE)	42,93	44,62	16,97	61,36
3	24(BE)	14,17	28,92	46 (AS)	0,22	39,83	2 (BE)	40,67	43,30	15,65	56,59
4	28 (BE)	13,45	27,45	44 (SA)	0,20	36,51	10 (BE)	39,50	42,35	14,70	53,15
5	2(BE)	12,96	26,46	9 (BE)	0,19	34,39	23 (BE)	38,75	41,63	13,98	50,54
6	23(BE)	12,17	24,83	10 (BE)	0,18	32,95	5 (BE)	36,52	40,78	13,12	47,45
7	54 (MA)	11,56	23,59	12 (SA)	0,17	31,23	22 (SA)	36,33	40,14	12,49	45,15
8	10 (BE)	10,94	22,33	13 (SA)	0,16	29,94	50 (SA)	34,82	39,48	11,82	42,75
9	34 (SA)	10,41	21,26	22 (SA)	0,16	28,95	7 (BE)	34,44	38,92	11,26	40,72
10	59 (SA)	9,89	20,18	8 (SA)	0,15	28,13	44 (SV)	34,17	38,44	10,79	39,00
11	5 (BE)	9,44	19,25	37 (BU)	0,15	27,44	38 (SA)	32,95	37,94	10,29	37,20
12	14 (SA)	9,05	18,47	2 (BE)	0,15	26,82	1 (SA)	32,25	37,47	9,81	35,48
13	39(BE)	8,72	17,80	5 (BE)	0,14	26,31	21 (BU)	31,71	37,02	9,37	33,88
14	53 (MA)	8,44	17,22	23 (BE)	0,14	25,85	8 (SA)	31,64	36,64	8,99	32,49
15	60 (MA)	8,18	16,70	20 (SA)	0,14	25,14	31 (SV)	31,42	36,29	8,64	31,23
16	3 (BE)	7,96	16,25	38 (SA)	0,13	24,52	26 (SA)	31,26	35,98	8,32	30,09
17	7 (BE)	7,75	15,82	41 (SV)	0,13	23,95	3 (BE)	31,06	35,69	8,03	29,05
18	22 (SA)	7,55	15,42	47 (SV)	0,13	23,46	34 (SA)	30,47	35,40	7,74	28,00
19	40(BE)	7,38	15,05	30 (SV)	0,12	23,01	27 (SA)	30,25	35,12	7,47	27,02
20	29 (BE)	7,21	14,72	21 (BU)	0,12	22,61	41 (SV)	29,99	34,87	7,22	26,09

Legenda: Procedências: BE) Belterra, MA) Macapá, AS) Santarém, BU) Buritizal e SV) Savana.

Esses resultados embora animadores, devem ser observados com cautela e com a avaliação da condição em que estes indivíduos estão situados no experimento em campo, pois fatores como a falta de competição podem favorecer esses valores expressivos encontrados.

Considerações finais

Dentre as procedências estudadas, Belterra foi a que apresentou indivíduos com maior IMA e, Buritizal, as menores taxas de bifurcação, embora estas ainda sejam altas.

As herdabilidades individuais foram baixas para todas as variáveis. As herdabilidades nas médias de progênies foram de alta, média e baixa magnitudes para sobrevivência, IMA de volume de madeira e bifurcação, respectivamente.

Existe perspectiva de ganhos com a seleção das melhores progênies e melhores indivíduos para sobrevivência e IMA e com a seleção das melhores progênies para sobrevivência.

Sugere-se que novos testes sejam realizados incorporando novos materiais genéticos a fim de aumentar as perspectivas de ganho. Recomenda-se que as análises sejam realizadas na idade rotacional mais adequada para a cultura.

Estudos com marcadores moleculares e de metodologias eficientes de propagação da espécie também devem ser desenvolvidos, a fim de auxiliar no planejamento de testes genéticos e programas de melhoramento.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Embrapa Amazônia Oriental e ao Grupo Jari pelo financiamento da pesquisa.

Referências

ABREU, D. C. A. de.; PORTO, K. G.; NOGUEIRA, A. C. Métodos de superação da dormência e substratos para germinação de sementes de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. **Floresta e Ambiente**, n. 24, e00071814, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.071814>.

ALVES, J. C. Z. O.; MIRANDA, I. S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma Floresta Amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta Amazônia**, v. 38, n. 4, p. 657-666, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000400008>.

BARROS JÚNIOR, U. O. **Tachigali vulgaris em plantios homogêneos na Amazônia**: parâmetros de crescimento, madeira e carvão vegetal para fins energéticos. 2020. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas.

CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de tachi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*)**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1983. 8 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

- CRUZ, S. L. **Análise genética do crescimento inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima)**: uma espécie de potencial agroecológico para a Amazônia. 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual de Roraima, Boa Vista.
- CRUZ, S. L.; PEDROZO, C. A.; OLIVEIRA, V. X. A.; SILVA, A. M. da; RESENDE, M. D. V. de; GONÇALVES, D. de A. Parâmetros genéticos e seleção inicial de procedências e progênies de taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) em Roraima. **Ciência Florestal**, v. 30, n.1, p. 258-269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509831631>.
- FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V.; MOCHIUTTI, S. Eficiência da seleção combinada no melhoramento genético do taxi-branco (*Sclerobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 147-152, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282152>.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L. D. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Survival, and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V. Avaliação de progênies de taxi-branco (*Sclerobium paniculatum*) e estimativas de parâmetros genéticos. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 3, p. 423-428, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921999293428>.
- FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V. Aplicação de diferentes critérios de seleção no melhoramento genético do taxi-branco. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 41, p. 46-54, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43068/1/AplicacaoTaxiBranco.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V.; BIANCHETT, A. Aplicação da seleção precoce em famílias de meios irmãos de taxi-branco. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 1, p. 85-91, 2003. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/407552/1/1v33n1a08.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2020**. Brasília, DF: IBÁ, 2020. 93 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MARTINOTO, F. **Avaliação do desenvolvimento inicial de espécies arbóreas nativas do cerrado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- ORELLANA, B. B. M. A. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá**. 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília.
- ORELLANA, B. B. M.; DO VALE A. T.; GONÇALEZ, J.; GUEDES, M. C.; ORELLANA, J. B. P.; LIMA, C. M. Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia. **Nativa**, v. 6, p. 773-781, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5130>.
- RAMOS, L. O.; MIRANDA, R. O. V.; SOARES, A. A. V.; PROTÁSIO, T. de P.; GONÇALVES, D. de A. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/uf.v51i4.75138>.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/1867/1773>. Acesso em: 20 out. 2022.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- SILVA, A. R.; GONÇALVES, D. de A.; SALES, A. Desempenho do tachi-branco em resposta à adubação combinada de fósforo e potássio em Latossolos. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 2, p. 37-48, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148489/1/Desempenho.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

SOUZA, J. C. D.; PEDROZO, C. Â.; SILVA, K. D.; OLIVEIRA, V. X. A.; ALENCAR, A. M. D. S. Ambientes para a produção de mudas e nodulação por rizóbios em *Tachigali vulgaris*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 116-129, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827955>.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; OLIVEIRA, J. M. F. de. Crescimento e qualidade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-8, 2018. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201801569.

VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; NEVES, C. de B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel) Leg: Caesalpinoideae. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém. **Anais** [...]. Belém: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. p. 83-90. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 123). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57956/1/Doc123-p83-90.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

Melhoramento genético de *Tachigali vulgaris*: teste de procedências e progênes em Roraima

Cássia Ângela Pedrozo
Sandra Lima Cruz
Delman de Almeida Gonçalves
Flaviana Antunes dos Santos

Introdução

Para a maioria das espécies florestais nativas brasileiras, ações de melhoramento genético são ainda escassas, não ultrapassando a fase de avaliação de procedências e progênes. No caso das espécies destinadas à obtenção de madeira, o melhoramento geralmente tem como objetivos a seleção de genótipos: 1) adaptados aos potenciais locais de plantio; 2) com elevada produtividade e melhor qualidade da madeira; 3) com melhor qualidade do fuste; 4) resistentes às principais pragas, doenças e estresses abióticos e 5) que disponham de variabilidade genética suficiente para garantir a conservação e o melhoramento no longo prazo.

Dentre as várias espécies madeiráveis nativas que possuem potencial para investimento em programas de melhoramento, pode-se citar o tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima), uma espécie arborea de polinização cruzada (Venturieri et al., 1999; Carvalho, 2005), que apresenta bom desenvolvimento silvicultural em diversos ambientes. Além disso, a espécie se associa às bactérias fixadoras de N atmosférico, tem excelente produção de serapilheira, apresenta potencial para a recuperação de áreas degradadas e pode ser aproveitada para diversos fins, incluindo os energéticos, confecção de mourões, caibros e esteios, produção de embalagens e uso na construção civil e na apicultura (Mochiutti et al., 1999; Venturieri et al., 1999; Pott; Pott, 2003; Mochiutti et al., 2006; Souza et al., 2004; 2008).

Em relação ao aproveitamento para fins energéticos, a madeira do tachi-branco possui características comparáveis àquelas das espécies tradicionalmente usadas no Sudeste e Sul do Brasil (Tomaselli et al., 1983; Mochiutti et al., 1999). A árvore apresenta arquitetura similar àquela dos eucaliptos em condições de maciço (monocultivo), dominância apical bem definida, excelente vigor e boa desrama natural sob plantio denso (Carvalho, 2003). Carpanezzi et al. (1983) observaram, em condições naturais, árvores de tachi-branco com crescimento similar ou superior aquele de outras espécies amazônicas com crescimentos tidos como mais rápidos, como o morototó (*Didymopanax morototonii*).

Ainda não existe programa de melhoramento genético consolidado para o tachi-branco, o que pode resultar em plantios com mudas de sementes coletadas de árvores sem identificação e qualidade genética e que, conseqüentemente, são muito heterogêneos, de baixo rendimento e de baixa qualidade da madeira. Alguns estudos visando estimar a variabilidade genética disponível, bem como avaliar a eficiência de certas estratégias de seleção para a espécie, foram inicialmente conduzidos no Amapá (Farias Neto et al., 1998, 2003; Farias Neto; Castro, 1999; 2000). Nestes estudos foi observada variabilidade genética para sobrevivência, diâmetro à altura do peito (DAP), altura, número de fustes por árvore, volume de madeira e produção de biomassa em progênes de polinização

aberta, avaliadas aos quatro e aos oito anos de idade. Foi também demonstrado que a seleção com base na média de progênies se mostrou mais eficiente que a seleção individual, bem como o uso da seleção combinada foi mais eficiente que a seleção entre e dentro de progênies. Estudos adicionais, englobando outras populações, bem como locais com condições edafoclimáticas diversificadas, são necessários para avaliar o potencial de melhoramento do tachi-branco.

O teste de procedências e progênies é uma estratégia de eficiência comprovada no melhoramento de espécies florestais (Sampaio et al., 2000). Utilizando informações coletadas destes testes é possível estimar parâmetros genéticos e selecionar genótipos promissores para uso em cruzamentos e, ou clonagem, bem como estabelecer pomares de sementes por mudas (PSM), por meio do desbaste seletivo de plantas inferiores (Rocha et al., 2009). O objetivo deste capítulo é apresentar os principais resultados obtidos da avaliação inicial de um teste de procedências e progênies de polinização livre de tachi-branco, em Roraima.

Metodologia

Na safra de 2014/2015, um teste com três procedências (duas provenientes do Pará e uma do Amapá) e 28 progênies de polinização livre de tachi-branco foi implantado em viveiro e, posteriormente, no Campo Experimental da Embrapa Roraima, localizado no município de Mucajaí, RR. O objetivo final da implantação deste teste é transformá-lo em um pomar de sementes por mudas (PSM), por meio do desbaste das plantas inferiores (Cruz et al., 2020). O delineamento experimental considerado no viveiro foi blocos ao acaso, com 28 tratamentos, quatro repetições, sendo cada parcela constituída por cinco mudas. No campo, o experimento foi instalado seguindo o mesmo delineamento e número de tratamentos, porém, usando 20 repetições e uma única planta por parcela. Foi avaliado o desenvolvimento das mudas, no viveiro, sete meses após o transplante e das plantas no campo, aos seis, 12 e 18 meses após o plantio. De posse dos dados, foram estimados os parâmetros genéticos para caracteres de desenvolvimento das plantas, nas duas condições consideradas.

Resultados

No viveiro, as mudas de tachi-branco apresentaram bom desenvolvimento para três caracteres avaliados (em média, 8,0 folhas; 39,8 cm de altura e 5,24 mm de diâmetro do colo), sendo superior aos resultados obtidos em outros locais de avaliação (Souchie et al., 2011; Conceição; Dias-Filho, 2013). Em estudo feito por Souza et al. (2019), com mudas da mesma espécie, foi relatada a capacidade de associação com grande diversidade de rizóbios, o que pode, juntamente com a seleção genética de matrizes superiores, padronizar e melhorar ainda mais o desenvolvimento das plantas.

No campo, a sobrevivência geral das plantas foi 62,10% e 50,68%, aos seis e aos 18 meses após o plantio, respectivamente. Em avaliação realizada aos quatro anos e aos seis anos e meio após o plantio, a sobrevivência ficou estabilizada, com 50,36% nas duas datas de avaliação. A elevada mortalidade de plantas de tachi-branco no campo foi similar àquela relatada por Tonini e Lopes (2006), aos seis anos de idade, e pode ser atribuída, dentre outros fatores, à ocorrência de déficit

hídrico após o plantio, bem como à falta de adaptação da população às condições edafoclimáticas do local de plantio, já que as progênies avaliadas são procedentes do Amapá e do Pará.

Em relação ao crescimento das plantas no campo, em média, a altura total e o diâmetro à altura do peito (DAP), aos 18 meses após o plantio, foram 3,03 m e 3,02 cm, respectivamente. Na avaliação feita aos seis anos e meio após o plantio, houve variação de 16,9-28,6 m para a altura total e 10,70-28,01 cm para DAP. Adicionalmente, foram observadas árvores que apresentaram desde fuste único, até árvores com três fustes. Os dados coletados nessa última avaliação ainda não foram analisados geneticamente.

No viveiro, foi detectada variabilidade genética significativa para progênies quanto à altura e diâmetro do colo da muda e para procedências, quanto ao número de folhas. No campo, não foram observadas diferenças significativas entre procedências para os caracteres de crescimento avaliados (altura, diâmetro do caule a 10 cm do solo e DAP) e, para progênies, foram observadas diferenças apenas aos seis meses após o plantio, para altura da planta e diâmetro do caule a 10 cm do solo. Esses resultados indicam que há possibilidade de obter ganhos genéticos apenas na condição de viveiro e no estágio precoce de avaliação no campo, sendo, entretanto, recomendada a avaliação das plantas até a idade adulta, considerando outros caracteres silviculturais de importância silvicultural, bem como aumento da amostragem em testes futuros.

De forma geral, tanto no viveiro quanto no campo, foi observado que a variância genética aditiva dentro de procedências foi superior à variância genética entre procedências, indicando que, para maximizar os ganhos e manter a variabilidade genética, é mais vantajoso investir em maior número de indivíduos por procedência. De forma geral, as estimativas da herdabilidade individual no sentido restrito variaram entre as características, bem como entre as idades consideradas, sendo de baixas a moderadas (0,0560 a 0,3333). Essas estimativas da herdabilidade individual foram inferiores às estimativas da herdabilidade baseada na média de progênies, indicando que, na fase inicial de desenvolvimento do tachi-branco, a seleção de progênies deve ser mais eficiente que a seleção de indivíduos, o que também foi observado por outros autores (Farias Neto; Castro, 1999; Farias Neto; Castro, 2000; Farias Neto et al., 2003).

Os ganhos obtidos com a seleção de 40% das progênies e de indivíduos, foram de baixos a moderados (0,67-8,41%), com variação entre as idades de avaliação. De forma geral, esses ganhos foram similares aos obtidos por Farias Neto et al. (2003), aos 48 e 96 meses após o plantio (4,05% e 7,21% para altura e de 5,25% e 8,41% para DAP, respectivamente), considerando a seleção de 33% das progênies avaliadas.

Considerações finais

A avaliação de outras características de interesse silvicultural, bem como o acompanhamento do crescimento das plantas de tachi-branco até a idade de corte, deverão ser realizados, visando verificar a possibilidade de seleção precoce para a espécie, bem como identificar indivíduos inferiores para desbaste e transformação do teste de procedências e progênies em um PSM. Os resultados obtidos poderão auxiliar na promoção do cultivo da espécie, pelo fornecimento de sementes melhoradas para uso em agroecossistemas e, ou em projetos de recuperação de áreas alteradas em Roraima.

Referências

- CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-de-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* vogel)**. Curitiba: Embrapa - URPFC, 1983. 10 p. (Embrapa – URPFC. Circular técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 627 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229483/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Livro.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CARVALHO, P. E. R. **Taxi-branco: Taxonomia e nomenclatura**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/288825/1/circtec111.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CONCEIÇÃO, A. C. da; DIAS-FILHO, M. B. Níveis de sombreamento para produção de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Revista do Instituto Florestal**, v. 25, n. 2, p. 151-161, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102964/1/RIF25-2-151-161.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIAS NETO, J. T.; CASTRO, A. W. V. Aplicação de diferentes critérios de seleção no melhoramento genético do taxi-branco. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 41, p. 46-54, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43068/1/AplicacaoTaxiBranco.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIAS NETO, J. T. de.; CASTRO, A. W. V. de. Avaliação de progênies de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*) e estimativas de parâmetros genéticos. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 3, p. 423-428, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921999293428>.
- FARIAS NETO, J. T. de.; CASTRO, A. W. V. de.; BIANCHETT, A. Aplicação da seleção precoce em famílias de meios irmãos de taxi-branco. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 1, p. 85-91, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392200331091>.
- FARIAS NETO, J. T. de.; CASTRO, A. W. V. de.; MOCHIUTTI, S. Eficiência da seleção combinada no melhoramento genético do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p.147-152, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282152>.
- MOCHIUTTI, S.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T. de.; QUEIROZ, J. A. L. de. **Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): leguminosa arbórea para recuperação de áreas degradadas e abandonadas pela agricultura migratória**. Boa Vista: Embrapa Amapá, 1999. 5 p. (Embrapa Amapá. Comunicado técnico, 28). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L. de.; MELÉM JÚNIOR, N. J. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes de um povoamento de taxi-branco e de uma floresta secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 52, p. 3-20, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AP/11333/1/BPF_52_p3-20.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.
- POTT, A.; POTT, V. J. Plantas nativas potenciais para sistemas agroflorestais em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande. **Anais [...]**. Campo Grande: Embrapa, 2003. p. 1-9. Disponível em: <http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/03.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- ROCHA, R. B.; ROCHA, M. D. G. B.; ROCHA, D.; TORRES, D.; NOVAES, R. M. L. Teste de procedência e progênie de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg) visando o estabelecimento de pomar de sementes. **Biota**, v. 2, n. 4, 2009.
- SAMPAIO, P. de T. B.; RESENDE, M. D. V. de; ARAÚJO, A. J. de. Estimativas de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2243-2253, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100017>.
- SOUCHIE, F. F.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MARIMON, S. B.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 245-250, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050984526>.
- SOUZA, C. R. de; LIMA, R. M. B. de; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, M. B. Efficiency of forest species for multiple use in Amazonia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008.
- SOUZA, C. R. de; LIMA, R. M. B. de; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B. **Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2004. 23 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 34). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAA-2009-09/11952/1/Doc_34.pdf. Acesso em: 20 out. 2022.

SOUZA, J. C.; PEDROZO, C. A.; SILVA, K. da; OLIVEIRA, V. X. A.; ALENCAR, A. M. S. Ambientes para a produção de mudas e nodulação por rizóbios em *Tachigali vulgaris*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 116-129, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827955>.

TONINI, H.; LOPES, C. E. V. **Características do setor madeireiro do Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006. 25 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195540/1/doc082006-caracteristicas-helio.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de taxi-branco da terra firme (*Sclerolobium paniculatum* VOGEL) para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6/7, p. 33-44, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaselli.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JÚNIOR, S.; NEVES, C. B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel), Leguminosae. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1999, Belém. **Anais** [...]. Belém: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. p. 83-90. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57956/1/Doc123-p83-90.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

Crescimento e produção de florestas energéticas de *Tachigali vulgaris*

Alvaro Augusto Vieira Soares
Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Thiago de Paula Protásio
Arystides Resende Silva
Delman de Almeida Gonçalves

Introdução

O tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima) é uma espécie arbórea da família Fabaceae de ampla distribuição geográfica, que ocorre desde o bioma Amazônia até o Cerrado e a Mata Atlântica (Rolim; Piotto, 2018). É uma espécie heliófila, colonizadora de áreas, portanto, iniciadora do processo de sucessão secundária (Carvalho, 2005).

Esta espécie é conhecida popularmente como carvoeiro, o que remete à utilização tradicional de sua madeira para a produção de carvão. Ao caracterizarem a madeira de árvores de tachi-branco, alguns estudos, tais quais Tomaselli et al. (1983), Vale et al. (2002), Orellana (2015) e Silva et al. (2021), ressaltaram sua adequabilidade para fins energéticos, o que faz com que essa espécie seja considerada uma promissora alternativa para o setor industrial de energia da biomassa.

Seu potencial não se restringe somente à aplicação comercial. O tachi-branco é uma espécie de grande utilidade para a recuperação de áreas degradadas devido à sua característica de rápido crescimento com abundante deposição e incorporação de matéria orgânica ao solo (Dias et al., 1995; Farias et al., 2016) e pela sua rusticidade, tendo forte capacidade de adaptação em condições desfavoráveis de fertilidade (Carpanezzi et al., 1983; Coutinho, 2008). Além disso, a sua associação com bactérias do gênero *Rhizobium* (Faria et al., 1984) lhe confere a capacidade de fixar nitrogênio no solo, o que a reforça o seu potencial como importante opção aos reflorestamentos para fins de recuperação ambiental (Dias et al., 1995).

Apesar destas fortes potencialidades, as pesquisas sobre a ecologia, silvicultura e manejo do tachi-branco ainda se encontram na sua fase inicial, especialmente quando comparado às espécies predominantes da silvicultura brasileira, como os eucaliptos e pinus. Além disso, ainda são necessárias avaliações para que se conheça o comportamento desta espécie em diferentes condições ambientais e de manejo para que sejam traçadas referências de prescrições silviculturais a compor regimes de manejo adequados aos objetivos propostos.

Um dos alicerces para o desenvolvimento da silvicultura e do manejo de uma espécie é o conhecimento do seu padrão de crescimento, e como este padrão é afetado por variáveis que podem ou não ser passíveis de controle, tais como: o espaçamento de plantio, a adubação e a textura do solo, respectivamente. Desde a década de 1980, estudos vêm sendo realizados em diversas localidades, principalmente na região Amazônica (Carpanezzi et al., 1983; Tomaselli et al., 1983; Venturieri et al., 1999; Narducci et al., 2016; Silva et al., 2021), mas, também, em outros Estados e regiões, como no Espírito Santo (Rolim; Piotto, 2018), com o objetivo de observar as respostas das árvores de tachi-branco cultivadas em povoamentos puros.

A partir destes estudos, importantes documentos foram elaborados reunindo as principais respostas encontradas sobre o desenvolvimento desta espécie (Souza et al., 2016) e sobre o zoneamento topoclimático de áreas potenciais para plantio na região amazônica (Martorano et al., 2018). A Figura 1 destaca as respostas de algumas variáveis dendrométricas ao longo do tempo, compiladas por Sousa et al. (2016).

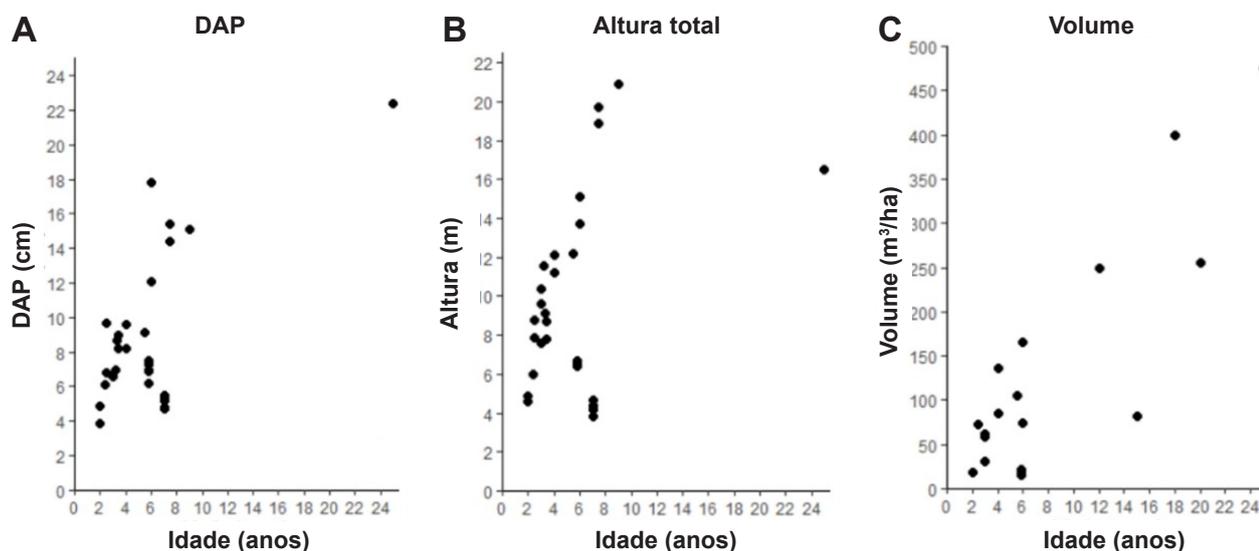


Figura 1. Evolução das variáveis dendrométricas diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) (A), altura total (B) e volume por hectare (C) compilados de vários estudos de plantios puros de *Tachigali vulgaris*.

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2016).

Nota-se a grande variabilidade de respostas, o que é esperado devido à diversidade de ambientes nos quais os experimentos foram estabelecidos e aos diferentes tratamentos silviculturais testados. Compreender estas respostas é imprescindível para que se possa delinear tratamentos ótimos visando não somente a maior produtividade de povoamentos desta espécie em plantios puros, mas o manejo sustentado destes povoamentos, contribuindo com a diversificação da produção florestal no Brasil.

Diante do exposto, o objetivo deste capítulo se concentrou na apresentação de padrões e tendências de variáveis dendrométricas e de plantios experimentais de tachi-branco localizados no norte do Pará. Em especial, focou-se na evolução temporal das variáveis dendrométricas, bem como na influência do espaçamento de plantio e da textura do solo sobre elas.

Metodologia

Caracterização da região e descrição dos experimentos

Dados provenientes de dois plantios experimentais de *T. vulgaris* foram analisados: um experimento de espaçamentos de plantio e um de adubação. Estes experimentos foram instalados no ano de 2010, no Distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, no norte do Pará, por meio da parceria

celebrada entre a Empresa Jari Celulose e a Embrapa Amazônia Oriental, no âmbito do Projeto Florestas Energéticas.

O clima da região é classificado como Am, segundo classificação de Köppen, com características intermediárias entre Af e Aw. O regime pluviométrico se caracteriza por uma curta estação seca nos meses de agosto a dezembro e uma estação chuvosa dos meses de janeiro a julho. A precipitação pluviométrica média anual varia de 1.970-2.300 mm. A temperatura média anual apresenta variação de 22,4 °C a 27,2 °C e a umidade relativa média anual é 54% (Demolinari et al., 2007; Castro et al., 2018). Para a produção das mudas foi utilizada uma miscelânea de sementes coletadas de árvores matrizes oriundas de floresta nativa dos municípios de Santarém, Belterra e Almeirim, no estado do Pará e do município de Macapá, estado do Amapá.

Um dos plantios experimentais, conforme já comentado, consiste em um experimento de espaçamentos. Este experimento foi implantado em um delineamento em blocos casualizados com três blocos completos e uma repetição por bloco. Os tratamentos testados foram os seguintes espaçamentos de plantio: 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m. As unidades experimentais de todos os tratamentos foram instaladas com área de 3.060 m² (51 m x 60 m), totalizando uma área experimental de, aproximadamente, 5,6 ha. Dentro das parcelas, independente do espaçamento de plantio, apenas as 49 plantas centrais constituíram a área útil da parcela, sendo o restante considerado bordadura.

Os experimentos de adubação foram desenvolvidos em duas áreas com distintas classes de textura do solo. Uma das áreas experimentais foi instalada sobre Latossolo Amarelo de textura média arenosa e a outra área sobre Latossolo Amarelo de textura argilosa. A distância em linha reta entre elas é, aproximadamente, 22 km. Em ambas as áreas experimentais, o espaçamento de plantio foi 3 m x 2 m, totalizando 1.667 árvores ha⁻¹. Foram testadas as seguintes doses de fósforo e potássio: 0 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 160 kg ha⁻¹ e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 0 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ e 199 kg ha⁻¹ de K₂O. A fonte de fósforo foi o superfosfato triplo (41% de P₂O₅), aplicado no fundo da cova durante o plantio. A fonte de potássio foi o cloreto de potássio (58% de K₂O), aplicado 40% aos 20 dias após o plantio e 60% aos 90 dias após o plantio. A dose de 21 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio (21% de N), foi fornecida apenas na ocasião do plantio como dosagem inicial de apoio, dado que o *T. vulgaris* dispõe da fixação biológica deste nutriente (Faria et al., 1984).

Pela combinação das doses de fósforo e potássio, onze tratamentos foram estabelecidos, além do tratamento controle, em que não foram fornecidas as doses de fósforo e potássio (Tabela 1).

Em cada área, os experimentos foram implantados sob delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial, com quatro blocos completos e uma repetição por bloco. As parcelas foram constituídas por quatro linhas com sete plantas cada, totalizando área de 168 m² (12 m x 14 m) por parcela e, aproximadamente, 1,6 ha por área experimental. Cada parcela continha, portanto, 28 plantas, das quais apenas seis árvores centrais foram medidas e o restante considerado bordadura.

Tabela 1. Adubos e dosagens (kg ha⁻¹) testados em um experimento de adubação de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Tratamento	Nitrogênio		Fósforo		Potássio	
	Sulfato de Amônio (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	Superfosfato Triplo (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Cloreto de Potássio (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
0-P + 0-K	100	21	0	0	0	0 0
0-P + 172-K	100	21	172	0	172	100 100
0-P + 343-K	100	21	343	0	343	199 199
195-P + 0-K	100	21	0	80	0	0 0
195-P + 172-K	100	21	172	80	172	100 100
195-P + 343-K	100	21	343	80	343	199 199
390-P + 0-K	100	21	0	160	0	0 0
390-P + 172-K	100	21	172	160	172	100 100
390-P + 343-K	100	21	343	160	343	199 199
780-P + 0-K	100	21	0	320	0	0 0
780-P + 172-K	100	21	172	320	172	100 100
780-P + 343-K	100	21	343	320	343	199 199

Medições e cômputo das variáveis analisadas

Medições anuais foram realizadas quando foram mensurados os diâmetros a 1,30 m do solo (DAP, em cm) e a altura total (ht, em m) de todas as plantas da área útil das parcelas. O volume comercial de madeira do tronco com casca por fuste (v , em m³) foi estimado por $v = 0,0002316049 \times \text{DAP}^2 + 0,00002392042 \times \text{DAP}^2 \text{ht} + 0,0005481849 \times \text{ht}^2$ ($R^2_{\text{ajust}} = 0,93$ e $S_{yx} = 11,93\%$) (Ramos et al., 2021). A produção, em volume por área (V ; m³ ha⁻¹) bem como em área basal (G ; m² ha⁻¹) foram computadas pela soma dos valores dos volumes e áreas seccionais, respectivamente, das árvores dentro de cada parcela multiplicados pelo fator $10.000/A$, em que A é a área útil da parcela, para extrapolação para 1 ha. Além das variáveis DAP, ht, v , V e G , as variáveis sobrevivência de árvores (S_{arv} , %), densidade de árvores (Dens_a , árvores ha⁻¹), densidade de fustes (Dens_f , fustes ha⁻¹) e a quantidade de fustes por árvore ($N_{\text{fustes/arv}}$) foram obtidas.

Análises estatísticas

Para a análise da evolução temporal das variáveis descritas anteriormente, linhas de tendências suavizadas para a média destas variáveis foram traçadas pela função *geom_smooth*, método “lo-ess” (ajuste de regressão polinomial localizada), do pacote *Ggplot2* (Wickham, 2016) no programa R (R Core Team, 2022). Para o experimento de espaçamentos de plantios, uma linha foi traçada

representando a evolução das variáveis para cada espaçamento. No experimento de adubação, as tendências para cada área experimental (classe de textura do solo) foram traçadas, não sendo o propósito realizar a análise por tratamento de adubação.

Além da construção destas curvas de tendência suavizadas, possíveis diferenças estatísticas entre variáveis foram avaliadas entre os grupos de interesse na última idade de medição. Para o experimento de espaçamentos, realizou-se o teste de agrupamento de Scott-Knott, com 5% de significância, para identificar possíveis diferenças estatísticas das médias das variáveis entre os diferentes espaçamentos de plantio na idade próxima de onze anos (10,8 anos). Para o experimento de adubação, realizou-se o teste t-pareado, com 1% de significância, para identificar possíveis diferenças estatísticas na idade próxima de dez anos (9,6 anos) das médias das variáveis entre a área experimental instalada sobre solo com textura arenosa e àquela instalada sobre solo com textura argilosa. Para o experimento de adubação, como houve um intervalo considerável entre as últimas medições das duas áreas experimentais, i.e. 9,6 anos na área sobre o solo argiloso e 10,2 anos na área sobre solo arenoso, fez-se a interpolação linear entre as duas últimas medições da área sobre solo arenoso, idades de 9,1 anos e 10,2 anos, para equiparar os valores das variáveis à idade de 9,6 anos, representando a idade exata da última medição da área sobre solo argiloso. O teste t-pareado foi escolhido por levar em consideração o pareamento entre os tratamentos de adubação entre as duas áreas experimentais. A significância de 1% para este teste foi escolhida para tornar o teste mais conservador, em que estão sendo comparadas médias gerais de duas áreas experimentais, que contém diferentes tratamentos.

Finalmente, para estimar a idade técnica de corte dos povoamentos e avaliar se ela seria afetada pelas características sob análise (espaçamento de plantio e classe de textura do solo), ajustou-se uma forma modificada do modelo de crescimento e produção de Clutter (Clutter, 1963), composto pelas seguintes equações: $\ln(G_2) = \ln G_1(I_1 I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1 I_2^{-1}) + \varepsilon$ e $\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 \ln G_2 + \varepsilon$, em que: V_2 é a produção em volume ($m^3 \text{ ha}^{-1}$) na idade de interesse; I_1 e I_2 são as idades atual e idade de interesse, respectivamente; G_1 e G_2 são as áreas basais atual e na idade de interesse, respectivamente. A modificação no modelo original de Clutter consistiu apenas na exclusão do termo referente ao sítio em ambas as equações de produção em volume e área basal, uma vez que se trata de experimentos que ocupam áreas relativamente pequenas, sendo pouco provável a constatação de ampla variabilidade de qualidade de sítios.

O ajuste do modelo modificado de Clutter foi realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados em dois estágios (Campos; Leite, 2017). No experimento de espaçamentos de plantio, o ajuste foi realizado para toda a base de dados. No experimento de adubação, o ajuste foi feito para classe de textura do solo. Para reportar a qualidade das estimativas, calculou-se a raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM) e o coeficiente de determinação (R^2) (Campos; Leite, 2017). Os coeficientes das equações foram testados pelo teste t a 5% de significância. Com os modelos ajustados, os pontos de maior incremento médio anual (IMA) foram determinados. Em ambos os experimentos, as produções futuras foram estimadas a partir das médias das áreas basais da primeira medição, em que no experimento de espaçamentos, foi utilizada a média das áreas basais de cada espaçamento e no experimento de adubação utilizou-se a média das áreas basais de cada classe de textura de solo. Com a prognose feita com base nestas áreas basais iniciais, obteve-se a razão entre o volume estimado e a respectiva idade de prognose, ou seja, o IMA, essencial na determinação da idade técnica de corte (ITC) identificada como o ponto de maior IMA.

Resultados e discussão

Experimento de espaçamentos de plantio

Na idade de onze anos, a maior parte das variáveis analisadas não apresentou diferença estatística entre os espaçamentos de plantio (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de variáveis dendrométricas em um experimento de espaçamentos de *Tachigali vulgaris* com idade próxima de onze anos, no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Esp (m)	DAP (cm)	ht (m)	v (m ³)	Dens _{arv} (árvores ha ⁻¹)	Dens _f (fustes ha ⁻¹)	S _{arv} (%)	N _{fustes/arv} (fustes ha ⁻¹)
3,0 x 1,5	15,4 a	21,1 a	0,2130 a	1.058 a	1.300 a	47,6 b	1,24 b
3,0 x 2,0	15,2 a	21,4 a	0,2071 a	850 b	1.134 a	51,0 b	1,33 b
3,0 x 2,5	15,7 a	21,6 a	0,2178 a	726 c	980 a	51,0 b	1,46 a
3,0 x 3,0	15,8 a	21,1 a	0,2157 a	680 c	1.111 a	65,3 a	1,53 a
3,0 x 3,5	15,6 a	21,3 a	0,2071 a	673 c	1.056 a	70,7 a	1,57 a
3,0 x 4,0	16,9 a	22,4 a	0,2567 a	595 c	1.014 a	71,4 a	1,70 a

Legenda: Esp = espaçamento inicial de plantio (m); DAP = diâmetro do fuste a 1,3 m do solo; ht = altura total do fuste; v = volume de madeira do fuste com casca, Dens_{arv} = densidade de árvores, Dens_f = densidade de fustes, S_{arv} = sobrevivência das árvores, N_{fustes/arv} = número de fustes por árvore. Letras iguais na coluna indicam diferença não significativa pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

No geral, o DAP dos fustes variou de 6,4-30,8 cm (Figura 2A). As médias de DAP dos espaçamentos de plantio variaram de 15,2-16,9 cm, não havendo diferença significativa nesta idade (Tabela 2). A altura dos fustes variou de 11,8- 26,8 m, próxima aos onze anos (Figura 2B), com as médias dos tratamentos de 21,1-22,4 m, também sem diferença estatisticamente significativa (Tabela 2). O volume de madeira com casca por fuste variou de 0,0086-0,8398 m³, próximo aos onze anos (Figura 2C), com médias por tratamento variando de 0,2071-0,2567 m³, sem diferença significativa (Tabela 2).

Como era esperado devido à densidade inicial de plantio, quanto menor o espaçamento, maior foi a densidade de árvores próxima aos onze anos (Figura 1D). Houve a formação de três grupos de médias estatisticamente diferentes (Tabela 2). O menor espaçamento, 3,0 m x 1,5 m, apresentou a maior média de 1.058 árvores ha⁻¹, seguido pelo espaçamento 3,0 m x 2,0 m com média de 850 árvores ha⁻¹ e, finalmente, o conjunto dos outros quatro espaçamentos com médias de 726 árvores ha⁻¹, 680 árvores ha⁻¹, 673 árvores ha⁻¹ e 595 árvores ha⁻¹, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Por outro lado, a densidade de fustes aos onze anos variou de 979-1.300 fustes ha⁻¹ (Figura 2E) sem diferença significativa (Tabela 2).

Em relação à sobrevivência de árvores, houve uma tendência de maior sobrevivência quanto mais amplo o espaçamento (Figura 2F) de forma que dois grupos de médias foram formados próximo aos onze anos de idade: os menores espaçamentos 3,0 m x 1,5 m, 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 2,5 m com sobrevivência média de 47,6%, 51% e 51%, respectivamente, enquanto o outro grupo foi formado pelos três maiores espaçamentos, com sobrevivências médias de 65,3%, 70,7% e 71,4%, respectivamente aos espaçamentos 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m (Tabela 2).

A análise da quantidade de fustes por árvore revelou a tendência de que nos maiores espaçamentos ocorrerem árvores com mais fustes (Figura 2G). A quantidade de fustes por árvore variou de 1 a 5. Comparando-se os espaçamentos extremos, a diferença foi de 37% de fustes a mais no maior espaçamento.

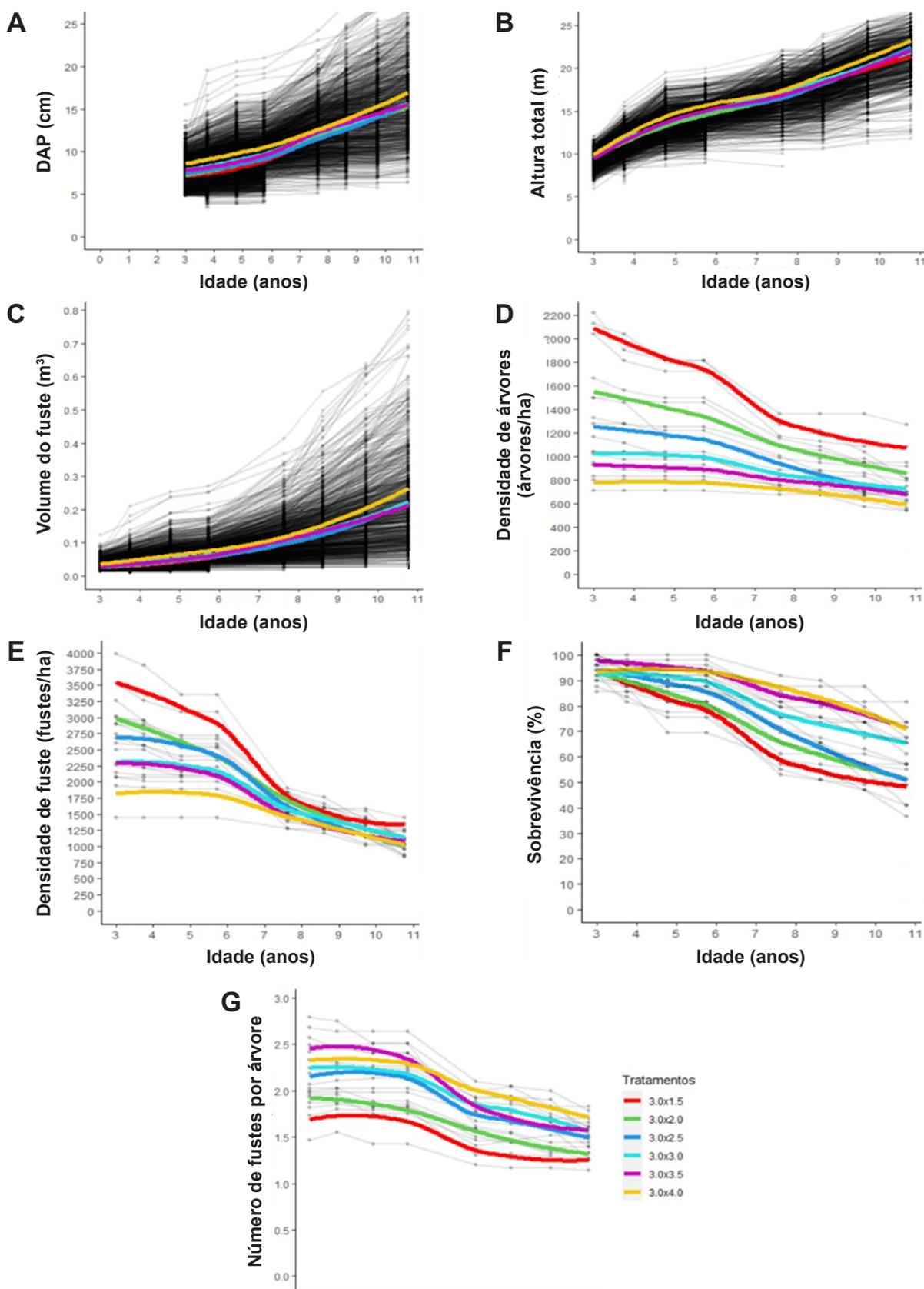


Figura 2. Tendência média das variáveis diâmetro a altura de 1,3 m do solo (DAP, A), altura total (B), volume de madeira do fuste com casca (C), densidade de árvores (D), densidade de fuste (E), sobrevivência de árvores (F) e quantidade de fustes por árvore (G) em um experimento de espaçamentos de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas coloridas referem-se às tendências médias. Os círculos conectados por linhas cinzas se referem aos valores observados.

As médias por espaçamento ficaram agrupadas da seguinte forma: os espaçamentos 3,0 m x 1,5 m e 3,0 m x 2,0 m promoveram médias de 1,24 e 1,33 fustes árvore⁻¹, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Os espaçamentos 3,0 m x 2,5 m, 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 3,5 m e 3,0 m x 4,0 m compuseram o segundo grupo com médias não diferentes estatisticamente, com valores de 1,46 fustes árvore⁻¹, 1,53 fustes árvore⁻¹, 1,57 fustes árvore⁻¹ e 1,70 fustes árvore⁻¹, respectivamente (Tabela 2).

É de se esperar que quanto maior o espaçamento maior será o diâmetro e o volume médios dos fustes (Leite et al., 2006; Lima et al., 2013; Pacheco et al., 2015). Em relação à influência do espaçamento na altura média das árvores, diferentes padrões de respostas são reportados na literatura, desde maior altura quanto menor o espaçamento (Inoue et al., 2011) à nenhuma relação entre a altura média das árvores e o espaçamento (Leite et al., 2006; Pacheco et al., 2015), como observado neste estudo.

Um fator importante a ser levado em consideração, ao se estudar a tendência destas variáveis ao longo do tempo, é a mortalidade. Adicionalmente, no caso do tachi-branco, há de se atentar também à característica de frequente bifurcação das árvores quando cultivadas em monocultivo. Assim, a não detecção de diferença significativa entre os espaçamentos de plantio pode ter-se dado devido à maior mortalidade nos menores espaçamentos e à tendência de perfilhamento nos espaçamentos maiores. Muito embora tenha ocorrido diferença significativa para a densidade de árvores entre os espaçamentos, em acordo com as densidades de plantio, a mortalidade de árvores (Figura 2F) e a tendência de perfilhamento nos maiores espaçamentos (Figura 2G), igualaram estatisticamente a densidades de fuste próximo aos onze anos de idade.

O ajuste do modelo de Clutter modificado para os dados provenientes do experimento de espaçamentos resultou no seguinte sistema, com todos os parâmetros significativos a 5% de significância pelo teste t (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros e estatísticas de qualidade de ajuste para o modelo de Clutter modificado ajustado a dados provenientes de um experimento de espaçamentos de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Equação	Parâmetros estimados			Estatística de qualidade	
	β_0	α_1 ou β_1	β_2	RQEM (%)	R ²
Volume (V_2)	1,785732*	-1,659670*	1,222631*	7,91	0,92
Área basal (G_2)	-	3,358553*	-	5,86	0,95

Legenda: V_2 = volume estimado na idade de interesse (m³ ha⁻¹); G_2 = área basal estimada na idade de interesse (m² ha⁻¹); β_0 , β_1 , β_2 e α_1 = parâmetros estimados, RQEM (%) = raiz quadrada do erro quadrático médio, R² = coeficiente de determinação.

As prognoses realizadas a partir da média das áreas basais iniciais dos espaçamentos revelaram a tendência de menor idade técnica de corte (com base na máxima produção média em volume) nos menores espaçamentos iniciais de plantio (Figura 3).

Os máximos valores de IMA prognosticados variaram de 26,5-29,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente ao segundo maior e o menor espaçamento, nas idades próximas de 5 anos e 4,5 anos (Figura 3). A maior produtividade do segundo maior espaçamento (3,0 m x 3,5 m) ao invés do primeiro (3,0 m x 4,0 m) ocorreu devido ao fato da média da área basal do segundo maior espaçamento (11,48 m² ha⁻¹) ter sido ligeiramente superior ao outro (11,12 m² ha⁻¹). Esta diferença pode ter surgido de variação aleatória dada à pequena diferença entre os espaçamentos avaliados.

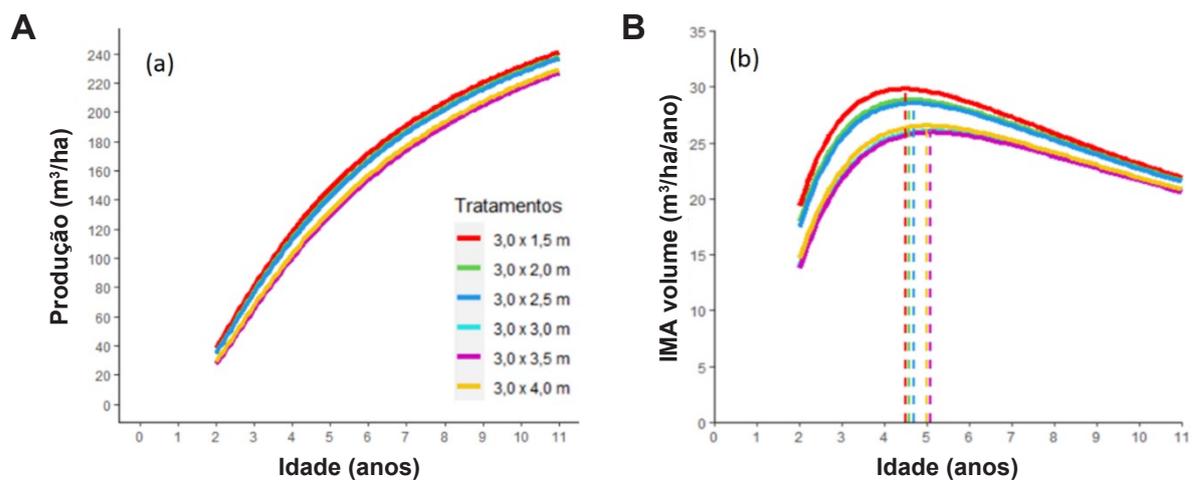


Figura 3. Curvas de produção (A) e de incremento médio anual em volume (B) estimadas para diferentes espaçamentos de plantios de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

A pequena diferença entre as idades técnicas de corte para espaçamentos de plantios tão contrastantes pode ter sido consequência da alta mortalidade nos espaçamentos menores e da maior ocorrência de perfilhamento das árvores nos espaçamentos maiores, como mencionado anteriormente. É possível que, com aprimoramento de tratamentos silviculturais, melhoramento genético e com o desenvolvimento e seleção de cultivares mais adaptadas, aliado ao entendimento e controle do fenômeno do perfilhamento nesta espécie, diferenças mais contrastantes de produtividade e de idade técnica de corte possam ser encontradas.

Experimentos de adubação

Na idade próxima a dez anos, os diâmetros dos fustes variaram de 5,2-28,3 cm para o solo arenoso e de 5,4-31,8 cm para o solo argiloso, cujas médias variaram de 13,9-14,5 cm respectivamente, valores estes não diferentes estatisticamente (p -valor = 0,21). Apesar disso, as curvas suavizadas apontam para uma tendência de aumento da diferença média entre os diâmetros médios a partir da idade de oito anos (Figura 4A). As alturas variaram de 9,8-23,5 m para o solo arenoso e de 11,0-26,5 m para o solo argiloso. As médias das alturas, aos 9,6 anos de idade, variaram de 18,3-18,9 m (Figura 4B), cuja diferença não foi estatisticamente significativa (p -valor = 0,03). O volume médio por fuste variou de 0,0179-0,6460 m³ e de 0,0210-0,8897 m³ para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, cujos valores médios variaram de 0,1710-0,1870 m³ (Figura 4c), sem diferença significativa (p -valor = 0,20).

A densidade de árvores variou de 556-1.667 árvores ha⁻¹ para o solo arenoso e a 278 árvores ha⁻¹ para o solo argiloso, com valores médios significativamente diferentes entre si de 1.072 árvores ha⁻¹ e 856 árvores ha⁻¹ (p -valor = 0,006), respectivamente (Figura 4D). A densidade de fustes variou de 3.056 fustes ha⁻¹, para ambas as texturas de solo, a 556 fustes ha⁻¹ para o solo de textura arenosa e a 278 fustes ha⁻¹ para o solo de textura argilosa. Seus valores médios variaram, respectivamente, de 1.535,3-1.464,1 fustes ha⁻¹ (Figura 4E), sem diferença significativa (p -valor = 0,60). Em concordância com a densidade de árvores, a sobrevivência variou de 100% a 33,3% (duas árvores sobreviventes) para o solo arenoso e 16,7% (uma árvore sobrevivente) para o solo argiloso, com médias significativamente diferentes entre si de 64% e 51% (p -valor = 0,006) (Figura 4F). A quantidade de fustes por árvore variou de 1-4 para o solo arenoso e de 1-5 para o solo argiloso, com médias de 1,37-1,76 fustes por árvore, diferenciando estatisticamente (p -valor = 0,004) (Figura 3G). Esse resultado indica maior ocorrência de bifurcação das árvores de *T. vulgaris* quando plantadas em

solo de textura argilosa comparativamente ao solo de textura arenosa, sendo mantidos os demais parâmetros experimentais.

Estes resultados, especialmente da dinâmica da sobrevivência, densidade de árvores e fustes e do número de fustes por árvores, sugerem que a textura de solo exerceu alguma influência sobre o desenvolvimento dos plantios. As tendências da densidade e sobrevivência de árvores indicam maior sobrevivência em todo o período analisado na área sobre solo arenoso. Contudo, a inclinação das duas linhas de tendência (Figura 4D e 4F) sugerem que o avanço da mortalidade ao longo do tempo foi semelhante para as duas áreas. Isso contrasta com a tendência da densidade de fustes (Figura 4E), a qual indica um breve aumento da densidade de fuste até a idade de quatro anos, período em que o surgimento de novos fustes superou a mortalidade de fustes, com posterior tendência descendente, sendo ligeiramente mais inclinada para a área sobre solo argiloso, indicando mortalidade de fustes mais intensa nesta até que, aos 9,6 anos, não houvesse mais diferença entre a densidade de fustes das duas áreas.

Outro indicativo do efeito da textura do solo no desenvolvimento das árvores é o fato das árvores de tachi-branco plantadas sobre solo argiloso tenderem a ter mais fustes que àquelas em solos arenosos (Figura 4G). Como observado no experimento de espaçamentos, quanto maior o espaçamento, mais fustes as árvores de tachi-branco tenderam a emitir (Figura 2G). Se este é um comportamento geral da espécie, logo, é possível que a maior quantidade de fustes por árvores na área sobre solo argiloso tenha emergido da maior mortalidade de árvores e fustes nesta área. No entanto, sugere-se que sejam realizadas investigações para elucidar o efeito da textura do solo sobre o crescimento e desenvolvimento das árvores de tachi-branco.

Os ajustes do modelo de Clutter modificado para os dados provenientes dos testes de adubação resultaram nos seguintes sistemas, com todos os parâmetros significativos a 5 % de significância pelo teste t (Tabela 4).

As prognoses feitas, partindo-se da média das áreas basais iniciais de cada área experimental aos dois anos ($4,93 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $6,17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ para as texturas arenosa e argilosa respectivamente), revelaram produtividade ligeiramente maior para o solo de textura argilosa (Figura 5A). Os valores máximos de IMA prognosticados variaram de $24,29$ - $25,51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e se situaram na mesma idade, de aproximadamente 5,8 anos (Figura 5B). Um fator que pode ter contribuído à ligeira superioridade da produtividade obtida no solo argiloso é a densidade de fustes por árvore, a qual se apresentou superior desde as primeiras medições, promovendo o aumento dos valores de área basal inicial nesta textura de solo (25,2% superior) e, conseqüentemente, nas estimativas de produção.

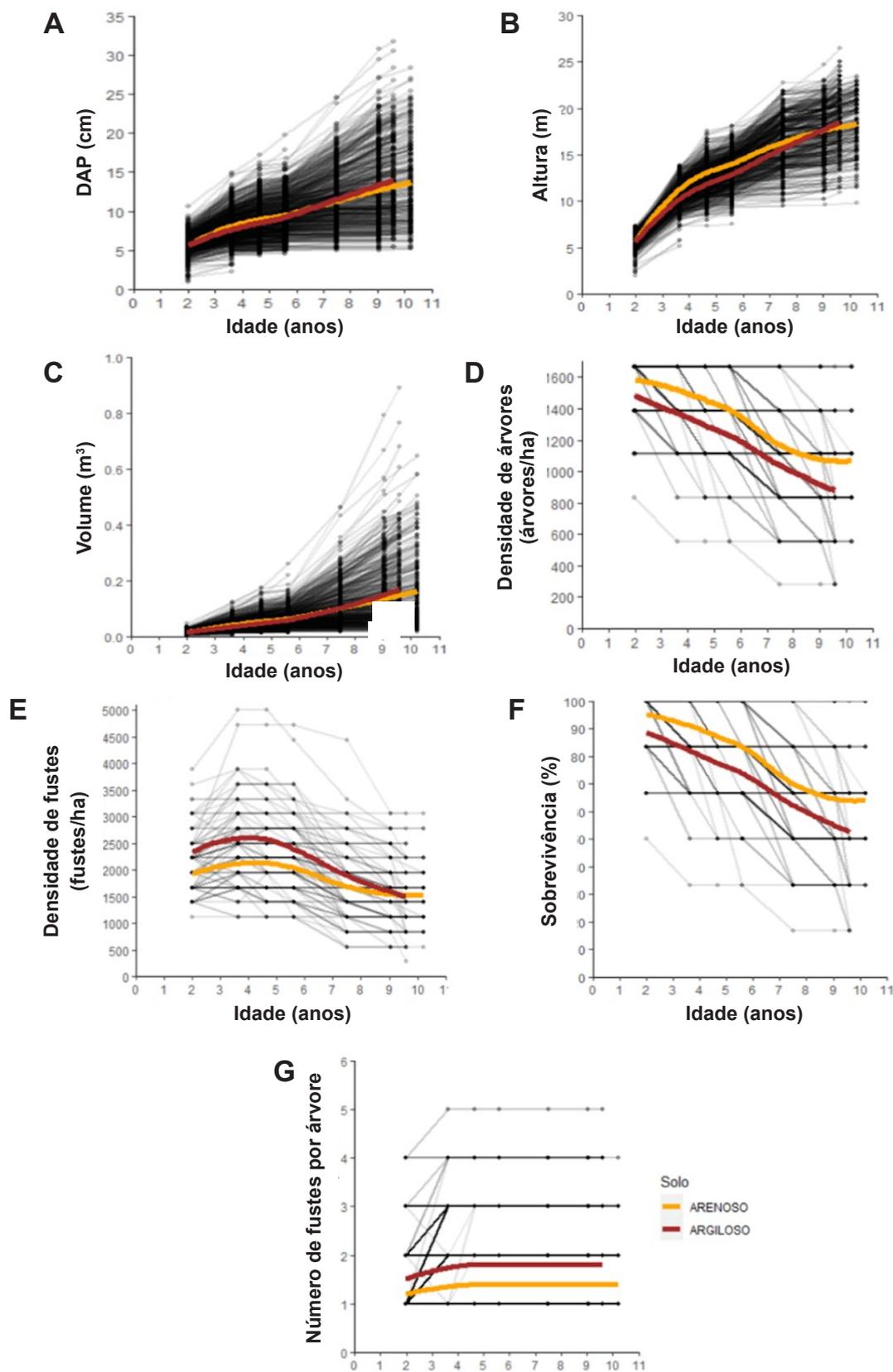


Figura 4. Tendência das variáveis diâmetro à altura de 1,3 m do solo (DAP, A), altura total (B), volume de madeira do fuste com casca (C), densidade de árvores (D), densidade de fuste (E), sobrevivência de árvores (F) e quantidade de fustes por árvore (G) do experimento de adubação de plantio de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas coloridas se referem às tendências médias de cada classe de textura de solo. Os círculos conectados por linhas cinzas se referem aos valores observados.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros e estatísticas de qualidade de ajuste para o modelo de Clutter modificado ajustado a dados proveniente de um teste de adubação de *Tachigali vulgaris* no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Equação	Parâmetros estimados			Estatísticas de qualidade	
	β_0	α_1 ou β_1	β_2	RQEM (%)	R ²
Textura arenosa					
Volume (V_2)	2,266444	-1,787737	1,060367	17,49	0,90
Área basal (G_2)	-	3,46518	-	14,83	0,88
Textura argilosa					
Volume (V_2)	2.334818	-2,284758	1,051166	20,29	0,86
Área basal (G_2)	-	3,482054	-	16,52	0,84

Legenda: V_2 = volume estimado na idade de interesse ($m^3 ha^{-1}$); G_2 = área basal estimada na idade de interesse ($m^2 ha^{-1}$); β_0 , β_1 , β_2 e α_1 = parâmetros estimados, RQEM (%) = raiz quadrada do erro quadrático médio, R² = coeficiente de determinação.

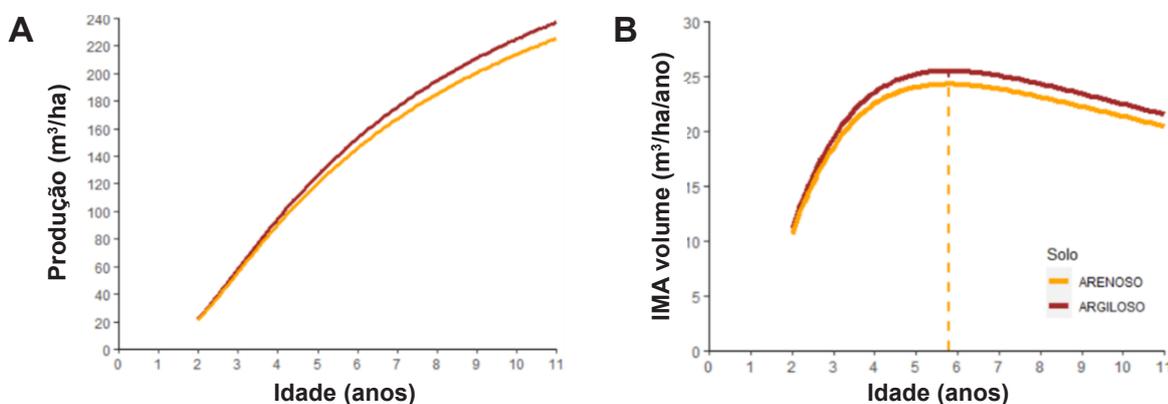


Figura 5. Incremento médio anual em volume (IMA) estimado para dois experimentos de adubação de plantios de *Tachigali vulgaris* em duas classes de textura de solo no Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim, PA.

Legenda: As linhas pontilhadas se referem ao ponto de máximo incremento médio anual, indicativo da idade técnica de corte visando à máxima produtividade em volume.

Considerações finais

Os resultados experimentais comprovam a forte aptidão da espécie tachi-branco (*T. vulgaris*) para plantios puros com produtividade volumétrica que pode ser considerada alta, sobretudo para uma espécie que ainda não passou por avanço de gerações de melhoramento genético.

Os resultados do experimento de espaçamentos indicaram produções muito próximas entre os espaçamentos avaliados ao final de um período próximo de onze anos, resultados prováveis em função da alta mortalidade observada. Com o desenvolvimento de prescrições silviculturais ótimas e com o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas, é possível que possam ser obtidas respostas mais contrastantes em futuros experimentos de espaçamentos. Sugere-se, ainda, a replicação de experimentos similares em outras localidades e com características edafoclimáticas contrastantes para se elucidar o efeito do espaçamento na dinâmica do crescimento de plantios de tachi-branco bem como para a prescrição local de espaçamentos ótimos.

Finalmente, sugere-se que novas pesquisas busquem explorar o efeito da textura de solo e ocorrência de bifurcação em aspectos ecofisiológicos do desenvolvimento das árvores de tachi-branco a fim de elucidar as evidências das respostas aqui apresentadas.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo nº 306793/2019-9), Embrapa Amazônia Oriental e Grupo Jari pelo financiamento da pesquisa.

Às discentes do Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da UFU, Câmpus de Monte Carmelo, Larissa de Oliveira Ramos e Ana Carolina de Fátima Cardoso Nunes, que desenvolveram seus projetos de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso no âmbito da “Rede de Pesquisa Tachi-Branco”, período de 2018 a 2020 e, dessa forma, contribuíram diretamente para a compreensão dos parâmetros de crescimento e produção de *T. vulgaris*.

Referências

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Editora UFV. 2017. 636 p.
- CARPANEZZI, A. A.; MARQUES, L. C. T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de tachi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum*)**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1983. 8 p. (EMBRAPA-URPFCS. Circular técnica, 8). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215491/1/circ-tec08.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CARVALHO, P. E. R. **Tachi-branco**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 11 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 111). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41472/1/circ-tec111.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- CASTRO, C. E. C.; SILVA, P. H. M.; ARAÚJO, M. J.; MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; PAULA, R. C. Adaptabilidade, estabilidade e produtividade de progênies de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 157-166, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n118.02>.
- COUTINHO, C. H. O. **Enriquecimento de capoeira**: recuperação de áreas alteradas e fonte alternativa de renda para agricultores familiares da Amazônia Oriental brasileira. 2008. Monografia (Especialização em Meio Ambiente) - Universidade Federal do Pará, Belém.
- CLUTTER, J. L. Compatible growth, and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/9.3.354>.
- DEMOLINARI, R. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 503-512, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000300016>.
- DIAS, L. E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C. A. Tachi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém. **Anais...** Rio Piedras: Instituto Internacional de Floresta Tropical: USDA-Serviço Florestal; Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. p. 148-153. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201113/1/Taxi-branco.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIA, S. M.; FRANCO, A. A.; JESUS, R. M.; MENANDRO, M. S.; BAITELLO, J. B.; MUCCI, E. S. F.; DOBEREINER, J.; SPRENT, J. I. New nodulating legume trees from south-east Brazil. **New Phytologist**, v. 98, n. 2, p. 317-328, 1984. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2485159>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L. D. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JÚNIOR, B. H. Survival, and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, p. 173-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.022>.
- INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr91/cap10.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

- LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400013>.
- LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.001>.
- MARTORANO, L. G.; TOURNE, D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. de; SANTOS, L. S. dos; BRIENZA JÚNIOR, S. **Zoneamento topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) na Amazônia Legal: estratégias de planejamento com metas de desenvolvimento sustentável**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2018. 70 p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 435). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170212/1/DOCUMENTOS-435-Online.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S. Growth and survival of *Sclerolobium paniculatum* Vogel and the relationship between rainfall and the increment in diameter at different planting spacings. **Revista Árvore**, v. 40, p. 447-454, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000300008>.
- ORELLANA, B. B. M. A. **Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá**. 2015, 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.
- PACHECO, J. M.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; MACHADO, S. A.; LIMA, R. Efeito da densidade inicial no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro Sul do Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 353-365, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr106/cap11.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 out. 2022.
- RAMOS, L. O.; MIRANDA, R. O. V.; SOARES, A. A. V.; PROTÁSIO, T. P. de; GONÇALVES, D. A. de. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/RF.V51I4.75138>.
- ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. **Silvicultura e tecnologia de espécies nativas da Mata Atlântica**. Belo Horizonte: Editora Rona, 2018. 160 p.
- SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONÇALVES, D. A. de.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. de. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 211-224, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01068-8>.
- SOUSA, V. G.; BRIENZA JÚNIOR, S.; BARBOSA, M. G.; MARTORANO, L. G.; SILVA, V. C. **Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H.C. Lima): botânica, ecologia e silvicultura**. Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 37 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 426) Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154191/1/DOCUMENTOS-426-Ainfo.pdf>.
- TOMASELLI, I. MARQUES, L. C. T.; CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D. Caracterização da madeira de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 6/7, p. 33-44, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48399/1/itomaseilli.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981702>.
- VENTURIERI, G. C.; BRIENZA JUNIOR, S.; NEVES, C. de B. Ecologia reprodutiva do taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* var. *paniculatum* Vogel) Leg: Caesalpinioideae. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: contribuições do Projeto Embrapa/DFID, 1999, Belém, PA. Resumos expandidos. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: DFID, 1999. Acesso em: 20 out. 2022.
- WICKHAM, H. **ggplot2: elegant graphics for data analysis**. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, 2016. 276 p.

Embrapa

Florestas

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL