

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).

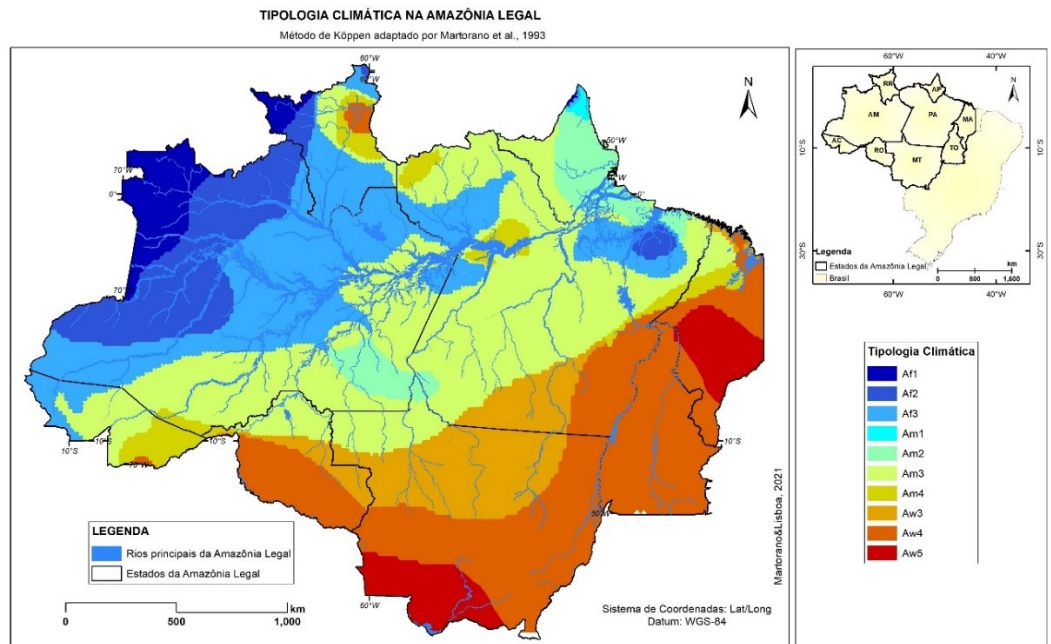
- Temperatura máxima do ar (°C): As altas temperaturas influenciam nos processos fisiológicos das plantas, na germinação das sementes e nas atividades das raízes (Larcher, 2004). Essa variável tem fundamental importância e deve ser considerada no planejamento de plantios florestais, pois é capaz de causar 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 booleano (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).

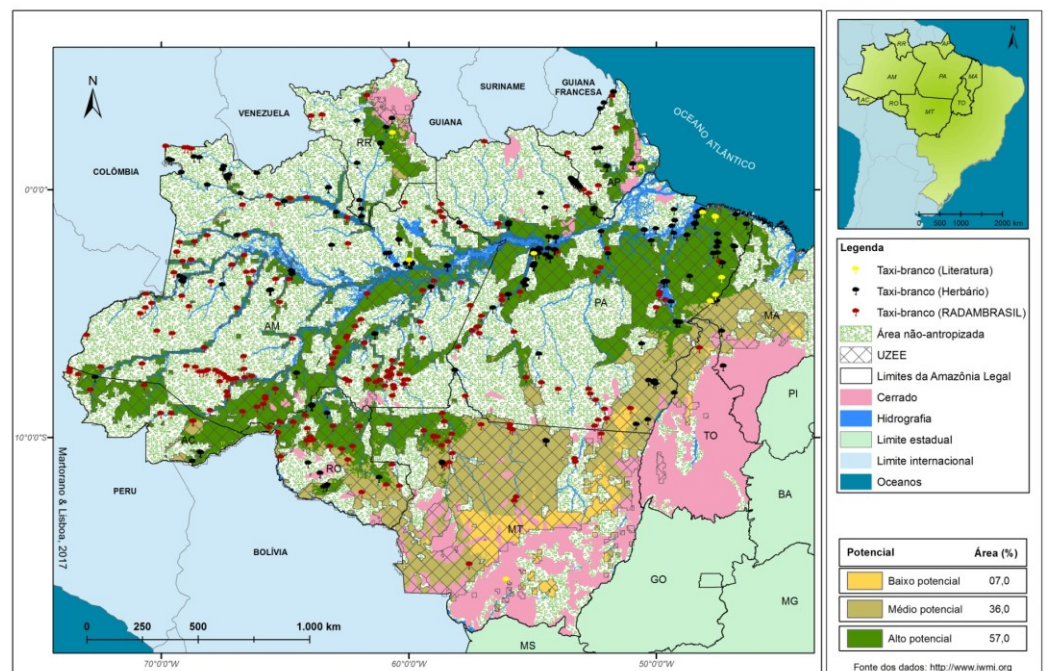
Fonte: Martorano et al. (2017).



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/porta/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 19 out. 2022.

JONES, P. D.; LISTER, D. H.; OSBORN, T. J.; HARPHAN, 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.