**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**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**

Daiana Carolina Antunes Monteiro

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada**

**Piracicaba
2013**

Daiana Carolina Antunes Monteiro
Engenheira Florestal

**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**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Co-orientadora:

Profa. Dra. LUCIETA G. MARTORANO

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ecologia
Aplicada**

**Piracicaba
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Monteiro, Daiana Carolina Antunes

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 / Daiana Carolina Antunes Monteiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.

153 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2013.

1. Silvicultura 2. Recomposição de paisagens 3. Geotecnologias 4. Zoneamento ambiental
I. Título

CDD 634.7
M775c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Aos meus queridos pais Ana Telma Monteiro e Daniel Monteiro,
minha irmã Luciana Monteiro, meu namorado Thomas Tourne,
à todos os meus familiares e amigos. Por todo amor,
paciência e incentivo que me dedicam.
Ofereço*

*A todos os meus queridos “mestres”
que contribuíram até esta etapa da minha vida
com seus ensinamentos.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido Deus e Nossa Senhora de Nazaré pelo conforto espiritual, proporcionado nessa trajetória.

À minha família e meu namorado por todo apoio, amor, dedicação e compreensão, principalmente nos momentos em que estive ausente.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi, muitíssimo obrigada por sua dedicada orientação, por ser uma pessoa ética e responsável, pelos seus valiosos ensinamentos e por suas palavras de incentivo.

À Prof^a. Dr^a. Lucieta Guerreiro Martorano, por sua incansável luta para a construção do conhecimento, dedicação na minha formação profissional nos últimos quatro anos, por me fazer acreditar que sempre podemos fazer melhor do que achamos e que a ciência mesmo sendo lenta e gradual é capaz de evoluir.

Ao Dr. Silvio Brienza Junior pelo apoio na pesquisa de campo, disponibilização de materiais de campo e palavras de incentivo para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Hilton Thadeu do Couto e ao MSc. Pedro Martorano por suas importantes contribuições nas análises dos dados dendrométricos.

Ao Prof. Dr. Paulo César Sentelhas pelas conversas e discussões sobre as avaliações climáticas.

Ao Prof. Dr. Egidio Arai, Prof^a Dr^a-Roberta Valente e Dr. Carlos R. Padovani, pelo apoio no esclarecimento de dúvidas no processamento de imagens MODIS.

Ao Prof. Dr. Carlos T. dos S. Dias, Prof^a Dr^a- Simone Sartório, aos pós-graduandos Marcello N. de Mello e Adriele Biase pelo apoio na análise estatística dos dados.

Ao Prof. João Almiro Soares pelos seus ensinamentos sobre resposta espectral da vegetação e acesso a licença de softwares da Universidade Federal Rural da Amazônia, escola responsável pela base da minha formação profissional.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por ser uma casa acolhedora, proporcionar oportunidades de expansão do conhecimento e possibilitar o desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter financiado minha bolsa de estudos por 10 meses, possibilitando o desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por ter financiado minha bolsa de estudos por 14 meses e reserva técnica, possibilitando o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao programa de Pós-graduação Interunidades em Ecologia Aplicada pela oportunidade de realização do curso e responsabilidade com a formação de profissionais.

Às secretárias Mara Casarin e Lúcia Monteiro, do PPGIEA e Departamento de Engenharia de Biossistemas, respectivamente, por toda gentileza, profissionalismo e amizade dedicados.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental, por colaborar nesta pesquisa, disponibilizando seus laboratórios, funcionários, transporte e equipamentos de segurança, contribuindo para a realização deste trabalho.

Ao projeto Restaura Ambiente “Restauração e produção de florestas sustentáveis para o Estado do Pará” e projeto Rede Biomassa pelo apoio financeiro na pesquisa de campo.

Ao senhor Marco A. Siviero, do grupo Arboris, pelas importantes contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa, durante discussões em reuniões técnicas e com a disponibilização de suas áreas de estudo. Também agradecemos a disponibilização de sua competente equipe composta por Median de Pardo, Geana Alves, Paulo Pereira e Márcio Aviz, entre outros, que direta ou indiretamente nos ajudaram.

Aos senhores Silvio D'Agoluzzo e Silvano D'Agoluzzo, do grupo Concrem, pela parceria estabelecida durante a realização deste trabalho, por seus conhecimentos compartilhados com nossa equipe e disponibilização de suas áreas para estudo.

Ao gerente em silvicultura do grupo Vale Florestar Manoel da S. B. Neto pela disponibilização de funcionários para acompanhamento de campo e colaboração com informações importantes para esta pesquisa.

Aos colegas Engenheiros Florestais Jonas Castro (Vale Florestar) e Osvaldo Cância (Rede Biomassa) pelo apoio nas atividades de campo, acompanhamento nas áreas de plantio e conhecimentos compartilhados.

À MSc. Vanessa Souza, pela amizade e importante apoio administrativo do projeto Biomassa, nas viagens de campo, na prestação de contas, no treinamento com o hipsometro Vertex e sua grande disposição em me ajudar, desde a graduação.

Ao senhor João Maestri, pelas valiosas conversas sobre a cadeia produtiva do paricá e hospitalidade no hotel Cricabom, durante as atividades de campo, em Dom Eliseu, PA.

À Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA/PA) pela disponibilização das imagens de satélite SPOT- 5 do Município de Dom Eliseu, auxiliando na pesquisa.

À Eng^a Florestal Cecilia Ochoa, técnica em meio ambiente SEMA/PA, pelas informações sobre legislação aplicada aos plantios de paricá.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente em Dom Eliseu (SEMMA), pela disponibilização de informações da atual situação fundiária do município, registrada em seus Cadastros Ambientais Rurais (CAR) e Diagnóstico Ambiental do município de Dom Eliseu, PA, disponibilizados.

Aos Curadores, Dr^a Regina C. V. Martins-e-Silva e Dr. Ricardo de S. Secco, dos herbários da Embrapa Amazônia Oriental (IAN) e Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG) respectivamente, pela disponibilização das informações sobre ocorrência de paricá catalogadas nesses herbários.

Aos pesquisadores, Dr. Paulo C. Cristo Fernandes e Dr. Luis W. Rodrigues Alves, pelo apoio na disponibilização de transporte e materiais necessários para atividade de campo, bem como pelas valiosas conversas sobre a situação atual da Amazônia e alternativas de sistemas de produção sustentáveis.

Aos amigos doutorandos em Engenharia de Biossistemas Rodrigo Muniz e Leila Lisboa pelo companheirismo, amizade e ensinamentos nas etapas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Aos amigos da Embrapa Andrezza Barbosa, Siglea Chaves, Milena Borges, Jefferson do Espírito Santo, Afonso Oliveira, Willian de Souza Filho, Alice Abdon, Vitor Batista, Gabriel Máximo, Joseane Reis, Camila Martins e Charles Wendel por todo apoio nas viagens de campo, coleta de dados e sentimento de aprendizado juntos.

Aos motoristas da Embrapa Francisco Carlos Cunha da Silva (Pita), Carlos Alberto Barbosa (Seu João Grandão) e Raimundo Wilson Nobre de Miranda (Seu Bigode), por suas contribuições na condução da equipe de maneira responsável nas atividades de campo, e por vezes, nos auxiliando nas atividades de coleta de dados.

Às amigas Joice Fernandes, Jaqueline Gomes, Larissa Quadros e Gracielle Nascimento pela amizade construída na universidade e que se perpetuou, apesar da distância, as quais tenho muito carinho.

Às amigas Sabrina Nogueira, Daniele Oliveira, Michelle Souza, Isabela Primiano, Bruna Apolônio e Helena Suleiman pela amizade durante o tempo que moramos juntas em Piracicaba.

Aos amigos Ingrid Scardino e Romulo Santos pelo carinho, apoio e orações.

Aos queridos amigos da “Piracicasa” pelo acolhimento, amizade e muitos momentos divertidos vividos.

Aos amigos do grupo de oração Água Viva pelos encontros maravilhosos.

E a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram no transcorrer deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

*“A verdadeira viagem do descobrimento não
consiste em procurar novas paisagens, mas em
ter novos olhos”.*

Marcel Proust

*“Salve, ó terra de ricas florestas,
Fecundadas ao sol do Equador!
Teu destino é viver entre festas,
Do progresso, da paz e do amor.”*

Trecho do Hino do Estado do Pará

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTAS DE FIGURAS	17
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Aspectos silviculturais do paricá	23
2.1.1 Ecologia e comportamento da espécie	23
2.1.2 Silvicultura da espécie	25
2.2 Bens e serviços do paricá	30
2.3 Legislação aplicada aos plantios de paricá	32
2.4 Zoneamento Florestal	33
2.4.1 Fatores abióticos	33
2.4.1.1 Clima	34
2.4.1.2 Altitude e relevo	36
2.4.1.3 Solos	37
2.5 Geotecnologias aplicadas à silvicultura	38
2.5.1 Sistemas de informações geográficas (SIG)	38
2.5.2 Álgebra de mapas	39
2.5.3 Sensoriamento remoto	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1 Área de estudo	45
3.1.1 Clima	46
3.1.2 Geologia	46
3.1.3 Geomorfologia	47
3.1.4 Pedologia	48
3.2 Sistemas computacionais utilizados na pesquisa	48
3.3 Avaliações topoclimáticas para subsidiar zoneamento do paricá	49
3.3.1 Organização dos planos de informação abióticos	49
3.3.2 Organização e coleta de dados bióticos	55
3.3.3 Definição de critérios topoclimáticos necessários para o zoneamento do paricá	57
3.4 Integração das variáveis (Álgebra de mapas)	60

3.5 Estudo de caso: Investigação de evidências de desempenho em plantios.....	61
3.5.1 Caracterização da área de estudo	62
3.5.2 Visitas técnicas.....	64
3.5.3 Instalação das unidades de monitoramento e coleta de dados	65
3.5.4 Análise dos dados dendrométricos	68
3.5.5 Análise dos dados climáticos	70
3.5.6 Mapeamento do uso e cobertura do solo município.....	72
3.5.6.1 Aquisição de imagens	73
3.5.6.2 Pré-processamento.....	73
3.5.6.3 Definição das classes de uso e cobertura do solo.....	74
3.5.6.4 Coleta das amostras de treinamento e aplicação do algoritmo de classificação	74
3.5.6.5 Verificação da exatidão da classificação	75
3.5.7 Respostas espectrais por meio de índice de vegetação.....	78
3.5.7.1 Aquisição das imagens e pré-processamento.....	78
3.5.7.2 Identificação e análise do comportamento espectral da vegetação	79
3.5.8 Elaboração de cenários de plantios de paricá até 2020	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1 Distribuição geográfica das ocorrências do paricá no bioma Amazônia	83
4.2 Variáveis topoclimáticas analisadas.....	86
4.3 Zonas de potencialidades topoclimáticas do paricá no Pará.....	94
4.4 Evidências de desempenho: Estudo de caso Dom Eliseu, PA	98
4.4.1 Condições topoclimáticas do município de Dom Eliseu	98
4.4.2 Zoneamento de potencialidades topoclimáticas do paricá em Dom Eliseu, PA	102
4.4.3 Uso e cobertura do solo	104
4.4.4 Comportamento espectral da vegetação em Dom Eliseu, PA	108
4.4.5 Respostas dendrométricas e térmico-hídricas em plantios de paricá	114
4.4.6 Cenários de expansão da cadeia do paricá até 2020.....	123
4.4.6.1 Forças Motrizes	123
4.4.6.2 Cenários otimistas e pessimistas	125
5 CONCLUSÕES	129
REFERÊNCIAS.....	131

RESUMO

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

O maior desafio da atualidade é atender a demanda crescente por matéria prima de forma responsável, mantendo a funcionalidade dos sistemas naturais às gerações atuais e futuras. Na Amazônia, formas históricas de uso do solo têm comprometido o padrão de cobertura e diversidade florestal. O Estado do Pará apresentou, de 2004 a 2012, as maiores taxas de desflorestamento na região, contabilizando 22% do Estado, resultando em reduções na biodiversidade e, conseqüentemente, no aumento de paisagens degradadas. Neste contexto, a silvicultura de espécies nativas apresenta-se como atividade potencialmente mitigadora, recompondo áreas alteradas, tornando-as produtivas, contribuindo com a conservação genética, a manutenção de serviços ambientais e a geração de emprego e renda. Para alcançar produções eficientes e eficazes existem pressupostos fundamentais, como identificação de material genético de alto rendimento, espécies compatíveis às condições edafoclimáticas, aspectos silviculturais e ecológicos das espécies. Neste trabalho, objetivou-se identificar condições topoclimáticas preferenciais ao paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby), espécie nativa da Amazônia, plantada em escala comercial no Brasil, para fim de laminação e seus derivados. Foram utilizadas informações georreferenciadas de ocorrências naturais e avaliadas as condições topoclimáticas predominantes nessas ocorrências. Para identificar faixas preferenciais foram aplicadas técnicas multivariadas, considerando as evidências obtidas em campo. Utilizando soluções de álgebra de mapas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) realizaram-se integrações de variáveis topobioclimáticas, selecionando as faixas preferenciais e limitantes à espécie. Como resultado, obteve-se o zoneamento indicando três zonas, com alto, médio e baixo potencial ao paricá, no Pará. As análises subsequentes foram realizadas utilizando dados de campo em plantios de paricá, no município de Dom Eliseu, no sudeste do Pará. Foram realizadas classificações digitais supervisionadas, utilizando imagens orbitais LANDSAT/TM-5 de 2010 para identificar padrões de uso e cobertura do solo no município. Os plantios de paricá foram espacializados no mapa de zoneamento de potencialidades do município, o que possibilitou a análise de respostas em NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) extraídos do sensor remoto MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), em diferentes períodos de deficiência hídrica (CAD 300 mm), aplicando-se teste de média e análise de perfil por meio de técnicas uni e multivariadas. Verificou-se que existe tendência no vigor do paricá, com decréscimo de 0,85 a 0,68, nos meses de maior deficiência hídrica, bem com diferenças significativas entre os plantios nas áreas de alto e médio potencial. Além disso, diferenças no incremento dendrométrico na transição do período seco para o chuvoso foram avaliadas em nível de significância de 5%. A partir dos resultados, quatro cenários silviculturais foram estabelecidos, considerando forças motrizes na cadeia produtiva do paricá. As áreas com alto potencial topoclimático expressam respostas espectrais mais elevadas, indicando maiores ofertas hídricas no solo, ao paricá. Cenários de plantios florestais nas zonas de alto potencial são evidências de maximização de ganhos econômicos, sociais e ambientais. Espera-se, com esses resultados, subsidiar estratégias de redução de riscos em plantios de espécies nativas para consolidar uma economia de baixa emissão de carbono na Amazônia, em conformidade com atual Código Florestal.

Palavras-chave: Silvicultura; Recomposição de paisagens; Geotecnologias; Zoneamento ambiental

ABSTRACT

Preferential topoclimatic conditions for parica (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) plantations and evidence of performance to optimize the silviculture in deforested areas in the Amazon

Today's greatest challenge is to meet the growing demand for raw materials in a responsible way, maintaining the functionality of the natural systems for actual and future generations. In Amazon, historically the different uses of the land have damaged the standards of forest covering and diversity. The State of Para showed, from 2004 to 2012, the biggest deforestation rates in the region, accounting for 22% of the state, resulting in biodiversity losses and, consequently, in the increase of degraded landscapes. Therefore, the silviculture of native species presents a potentially mitigating activity, recovering modified areas, turning them productive, contributing to the conservation genetics, to the maintenance of environmental services and the creation of jobs and income. To achieve an efficient and effective production there are fundamental assumptions like the identification of high yield genetic material, of species compatible with the edaphoclimatic conditions, of the silvicultural and ecology aspects of the species. This paper aims to identify preferential topoclimatic conditions for the parica (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby), a native species of the Amazon planted in large-scale in Brazil, for wood-laminating and derivatives. Georeference information of natural occurrence was used and the topoclimatic conditions prevailing in these occurrences were evaluated. To identify preferential rates multivariate techniques were applied considering the evidence obtained on the field. Using solutions of algebra maps on a Geographic Information System platform (SIG), integrations of topoclimatic variables were realized selecting preferred and limiting ranges to the species. As a result, we obtained the zoning showing three zones, of low, medium and high potential for the parica, in the State of Para. The subsequent analyses were realized using field data of parica plantation in the municipality of Dom Eliseu, in southeastern Para. Supervised digital classifications were realized using the orbital images LANDSAT/TM-5 of the 2010 to identify the patterns of land use and land cover in the municipality. The parica plantations were spatialized on zoning map to potential of municipality which made possible the analysis of the NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) answers extracted from the MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) remote sensor, in different periods of water deficit (AWC 300mm), applying a test of average and a profile analysis, using univariate and multivariate techniques. A tendency has been found in the parica vigor with a decrease from 0.85 to 0.68, in the months of greater water deficit, as well as differences between plantings in areas of high potential and those of medium potential. In addition, differences in dendrometric increase, in the transition of dry to rainy season, have been evaluated in a significance level of 5%. From this result, four silvicultural scenarios were established considering the driving forces in the parica's production chain. The high potential topoclimatic areas express higher spectral answer, indicating a higher water supply in the soil for the parica. Scenarios of forest plantation in high potential zones are evidences of economic, social and environmental gains maximization. With those results, we hope to subsidize strategies of risk reduction in plantings of native species to consolidate an economy of low carbon emission in the Amazon, in conformity with the current Forest Code.

Keywords: Silviculture; Landscape recovery; Geotechnologies; Environmental Zoning

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Árvores adultas, frutos e sementes de <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>parahyba</i> na mata atlântica (a esquerda) e <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> na Amazônia (a direita).....	18
Figura 2 - Produção de mudas de paricá em Dom Eliseu no Pará.....	20
Figura 3 - Torno de laminação de tração (a), Torno de laminação de fuso (b), Laminas de paricá saindo do torno de tração (c) e Rolo resto do paricá (d).....	22
Figura 4 - Exemplo de ataque de cigarra no paricá em Dom Eliseu, PA.....	23
Figura 5 - Bens e serviços do Paricá.....	26
Figura 6 - Mapa de vegetação no Estado do Pará segundo a classificação do IBGE.....	38
Figura 7 - Mapa de tipologia climática da Amazônia.....	44
Figura 8 - Mapa topotérmico do Estado do Pará.....	45
Figura 9 - Mapa de declividade média do Estado do Pará.....	46
Figura 10 - Mapa de deficiência hídrica trimestral (agosto a outubro) no Estado do Pará.....	46
Figura 11 - Mapa de deficiência hídrica anual no Estado do Pará.....	47
Figura 12 - Mapa de solos no Estado do Pará.....	47
Figura 13 - Investigações de ocorrências naturais.....	48
Figura 14 - Esquema de dados de modelagem cartográfica adaptado de Tomlin (1990) e integração de variável pela lógica de conjunção.....	54
Figura 15 - Mapa de localização de Dom Eliseu em bacias hidrográficas.....	55
Figura 16 - Número de habitantes em Dom Eliseu e produto interno bruto.....	56
Figura 17 - Desflorestamento em Dom Eliseu e no Estado do Pará.....	57
Figura 18 - Construção de mini-abrigo agrometeorológico e calibração do sensor em laboratório.....	59
Figura 19 - Representação espacial das unidades de monitoramento.....	60
Figura 20 - Etapas de monitoramento dendrométrico e térmico-hídrico em plantios de paricá.....	60
Figura 21 - Georreferenciamento de posto pluvial da Agencia Nacional de Águas (ANA) no entorno da área de estudo.....	64

Figura 22 - Elaboração e estratificação dos planos de informação (PI) do município de Dom Eliseu.....	65
Figura 23 - Distribuição dos pontos para verificar a exatidão da classificação supervisionada, em Dom Eliseu, PA.....	69
Figura 24 - Ocorrências naturais do paricá na Amazônia brasileira.....	75
Figura 25 - Tipologia climática da Amazônia brasileira a partir da adaptação de Martorano <i>et al.</i> (1993).....	76
Figura 26 - Interação entre eventos fenológicos e condições hídricas no Estado do Pará.....	78
Figura 27- Gráfico biplot para a representação dos autovetores das variáveis topoclimáticas.....	79
Figura 28 - Gráfico biplot para a representação dos autovetores das variáveis topobioclimáticas.....	83
Figura 29 - Ocorrência natural de paricá e condições topotérmicas no Pará.....	84
Figura 30 - Percentuais de ocorrência natural do paricá por classes de temperatura média do ar anual no Pará.....	84
Figura 31 - Percentuais de ocorrência natural do paricá por classes de altitude no Pará.....	85
Figura 32 - Ocorrência natural do paricá por faixas de deficiência hídrica trimestral.....	85
Figura 33 - Percentuais de ocorrência natural do paricá em condições de déficit hídrico trimestral no Pará.....	86
Figura 34 - Zoneamento topoclimático para o paricá e áreas protegidas no Estado do Pará....	90
Figura 35 - Tipologia climática do município de Dom Eliseu, PA.....	91
Figura 36 - Precipitação pluvial total anual no município de Dom Eliseu, PA.....	92
Figura 37 - Anomalias de precipitação pluvial total anual no período de 1982 a 2010 em Dom Eliseu,PA.....	92
Figura 38 - Distribuição da precipitação em quartis de Dom Eliseu, PA.....	93
Figura 39 - Variação mensal de precipitação pluvial e temperatura do ar no município de Dom Eliseu.....	94
Figura 40 - Correlação linear positiva entre os dados de precipitação pluvial da ANA e SIGCLIMA.....	94
Figura 41 - Zoneamento topoclimático do paricá no município de Dom Eliseu, PA.....	97

Figura 42 - Uso e cobertura do município de Dom Eliseu (2010).....	97
Figura 43 - Principais usos do solo encontrados em Dom Eliseu.....	99
Figura 44 - Comportamento do NDVI durante o ano de 2010 em Dom Eliseu-PA.....	102
Figura 45 - Perfil espectro-temporal do NDVI do Modis para florestas nativas e plantadas em Dom Eliseu, PA.....	103
Figura 46 - Equação de correlação entre a deficiência hídrica e índice de vegetação por diferença normalizada do paricá.....	104
Figura 47 - Variação do índice de vegetação com a idade em plantios de paricá.....	105
Figura 48 - Comportamento espectro-temporal de plantios de paricá em áreas topoclimáticas de alto e médio potencial.....	105
Figura 49 - NDVI em plantios de paricá sobre imagens LANDSAT e MODIS.....	106
Figura 50- Distribuição diamétrica do paricá em plantios com idade de 4 a 5 anos em diferentes períodos de oferta hídrica no município de Dom Eliseu, PA.....	107
Figura 51- Distribuição diamétrica do paricá em plantios com idade de 2 a 3 anos em diferentes períodos de oferta hídrica no município de Dom Eliseu, PA.....	108
Figura 52- Gráfico boxplot dos diâmetros obtidos em diferentes condições hídricas em Dom Eliseu, PA.....	109
Figura 53- Análise gráfica dos dados ajustado pelo modelo 4.....	109
Figura 54- Variações térmicas e hídricas em plantios de paricá no período de chuvoso, em Dom Eliseu, PA.....	113
Figura 55 - Variações térmico e hídricas em plantios de paricá no período seco, em Dom Eliseu, PA.....	115
Figura 56 - Forças motrizes da silvicultura do paricá no Estado do Pará.....	116
Figura 57 - Área plantada com o paricá na Amazônia.....	118
Figura 58 - Cenários de expansão da cadeia produtiva do paricá.....	119

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, formas históricas de uso e cobertura do solo promoveram diferentes padrões na paisagem. A utilização acelerada dos recursos naturais e sem planejamento tem causado perdas em biodiversidade. Assim, estratégias ecologicamente eficientes são necessárias para reduzir o desflorestamento, conservar a floresta em pé, prestar serviços ecossistêmicos e aumentar a produtividade em áreas alteradas, por meio de sistemas de produção de baixa emissão de carbono (GBO3, 2010; STABILE; AZEVEDO; NEPSTAD, 2012).

A Amazônia tem sido alvo de atividades promotoras de desflorestamento, impulsionado por fatores como, a exploração ilegal de madeira, irregularidades fundiárias, pecuária extensiva, produção de grãos até a produção de energia. As mudanças no código florestal brasileiro, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), refletem essa problemática.

O Estado do Pará apresenta 22% de suas áreas desflorestadas (274.569 km²), equivalente a uma área maior que o estado de São Paulo, mantendo-se na liderança de 2004 a 2012 (PRODES, 2013), com 15 municípios em situação crítica de desmatamento, dos 47 inclusos na lista do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2012). A forte pressão nacional e internacional, para garantir o efeito escala da Floresta Amazônica no sistema climático global, tem mobilizado ações governamentais e não governamentais e, as taxas vêm reduzindo nos últimos anos.

Como estratégia de conservação e proteção da biodiversidade, 55% (686.229,50 km²) de áreas estão legalmente protegidas no Pará (VERÍSSIMO et al., 2011), 32,3% (403.003,87 km²) estão incluídos como Unidades de Conservação (UC), divididas em unidades de Proteção Integral e Uso Sustentável (BRASIL, 2000), e 64 Terras Indígenas encontram-se identificadas pela FUNAI (IDESP, 2011), e correspondem a 22,7% (283.225,63 km²).

Nas áreas alteradas, a silvicultura apresenta-se como atividade potencialmente mitigadora, por contribuir com bens e serviços capazes de suprir a demanda de matéria prima renovável, gerar emprego e renda ao meio rural e urbano, além de conservar e propagar material genético de espécies Amazônicas (FLYNN, 2004; VALVERDE et al., 2011)

Na América Latina, os plantios florestais chegam a 13,8 milhões de hectares; destes, 6,7 milhões correspondem à área plantada do Brasil, principalmente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* (93%), com silvicultura conhecida, sementes melhoradas e tecnologia avançada. A atividade contribuiu com R\$ 56,3 bilhões no valor bruto de produção do Brasil, gerando cerca de 4.360.199 empregos (FAO, 2011; ABRAF, 2013). O governo objetiva aumentar essa

margem para nove milhões de hectares até 2020, para reduzir a emissão de Gases de efeito estufa, de oito a dez milhões de toneladas de CO₂ equivalentes (MAPA, 2012).

Mas, as pesquisas vêm evoluindo na Amazônia com uso de espécies em diferentes sistemas de produção (YARED, 1988; KANASHIRO; YARED, 1991; SABOGAL et al., 2006; BRIENZA JR et al., 2011, entre outros), entre elas o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby), espécie nativa da Amazônia, plantada em escala comercial no Brasil, totalizando 87.901 ha (ABRAF, 2013). No setor de madeira e móveis paraense, mais precisamente no Pólo Paragominas (Paragominas, Ulianópolis, Dom Eliseu e Rondon do Pará) a espécie vem sendo utilizada pelas indústrias de laminados e painéis de fibra de madeira (MDF). Porém, existe ainda uma grande demanda por novos estudos sobre ecologia e silvicultura de espécies amazônicas.

O desafio atual é identificar fatores capazes de limitar ou potencializar plantios florestais, baseando-se na resposta da planta às condições do ambiente, de maneira prática e eficiente. Diversos estudos foram realizados para *Eucalyptus grandis*, *E. tereticornis*, *Pinus radiata*, *P. taeda* e *Acacia mearnsii* (BOOTH, 1989; BOOTH; JONES, 1997; SOUZA et al. 2004; HIGA et al., 2008; HIGA; WREGGE, 2010). Para as espécies da Amazônia, Lima et al. (1999) apresentaram a proposta de instalação de unidades de validação para espécies de rápido crescimento. Silva et al. (2008) e Andrade (2012) avaliaram zonas bioclimáticas baseados na ocorrência da espécie visando a aplicabilidade em sistemas Agroflorestais. Estudos de Brienza JR et al. (2009), Martorano et al. (2010), Monteiro et al. (2010) e Martorano et al. (2011), apontam condições topoclimáticas preferenciais à ocorrência de espécies nativas da Amazônia.

Este trabalho tem por objetivo geral identificar zonas topoclimáticas preferenciais ao paricá capazes de expressar em plantios evidências de efeitos da condição hídrica no solo, para subsidiar estratégias silviculturais sustentáveis no Estado do Pará.

Entre os objetivos específicos pretende-se: identificar as condições topoclimáticas preferências ao paricá, baseando-se nas informações de ocorrência natural da espécie; gerar o zoneamento de potencialidades topoclimáticas do paricá no Estado do Pará; avaliar condições agrometeorológicas e identificar efeitos da condição hídrica no solo, em respostas dendrométricas e espectrais em plantios no município de Dom Eliseu, PA; utilizar dados espectrais NDVI/MODIS para verificar efeitos da condição hídrica no solo sobre o vigor da vegetação em diferentes nas zonas de potencialidades; estabelecer, com os resultados gerados neste trabalho, cenários de plantios sustentáveis de paricá na Amazônia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos silviculturais do paricá

O conhecimento de condições ecológicas de uma espécie e o seu comportamento em plantios florestais são fatores fundamentais na escolha de espécies potenciais para expressar alto desempenho, em áreas destinadas ao reflorestamento. Características edafoclimáticas auxiliam na identificação de áreas com dominância de distribuição de espécies e, podem subsidiar o planejamento de plantações em determinadas área de interesse. Portanto, a partir de informações existentes na literatura, consubstanciadas por levantamentos a campo, fez-se uma revisão dos principais aspectos que envolvem o paricá e sua cadeia produtiva.

2.1.1 Ecologia e comportamento da espécie

A espécie *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (APG III, 2009) é nativa da Amazônia, pertence à família das Fabaceas, popularmente conhecida como paricá, bandarra, pinho - cuiabano e guapuruvú-da-Amazônia (CARVALHO, 2007). Diferencia-se do guapuruvú (*Schizolobium parahyba* var. *parahyba*), espécie de exclusiva da Mata Atlântica (Figura 1), por apresentar florescimento sem folhas, cujas flores são menores, possui pétalas mais oblongas, rígidas e glabras, frutos e sementes de menores dimensões, pedicelos distintamente articulados, unidos acima da base e anteras menores (DUCKE, 1949; BARNEBY, 1996; SOUZA et al., 2003), além da madeira de maior densidade, geralmente $0,4 \text{ g.cm}^{-3}$, comparada a $0,2$ a $0,3 \text{ g.cm}^{-3}$ do guapuruvú (CARNEIRO; FERRAZ; TOMAZELLO, 1984; IWAKIRI et al., 2010).

O paricá ocorre naturalmente nos Estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso, Pará, Amazonas, na Amazônia Brasileira, e nas Amazôniaas venezuelana, colombiana, peruana e boliviana, em mata primária e secundária de terra firme, e várzea alta (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005; TONINI et al., 2005). Possui crescimento rápido, podendo alcançar altura até 30 m e diâmetro a altura do peito (DAP) maior que 1,20 m, incluindo-se entre as árvores gigantescas da Amazônia (MAGNANINI, 2002), copa pouco densa com ramificação cimosa, umbeliforme, tronco cilíndrico, presença de sapopemas desde a fase jovem (SOUZA et al., 2003).

O fuste reto, sem presença de nós, apresenta madeira de coloração branca, fácil “trabalhabilidade” e bom acabamento, comumente utilizada na fabricação de lâminas para painéis de compensados e de madeira reconstituída, considerada tecnicamente viável para tal produção (IWAKIRI et al., 2010).

Figura 1 - Árvores adultas, frutos e sementes de *Schizolobium parahyba* var. *parahyba*, na mata atlântica (a esquerda) e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, na Amazônia (a direita)

O paricá é uma árvore intolerante à sombra, perde suas folhas periodicamente, cuja floração ocorre entre junho e julho, com frutificação anual, entre setembro e outubro. Geralmente inicia seus eventos reprodutivos entre oito e dez anos, em áreas abertas e plantios, e aos doze anos, na floresta (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005). Os principais polinizadores são as abelhas (médias e/ou grandes), tais como Anthophoridae (*Xylocopa spp.* e *Centris spp.*, machos e fêmeas) e algumas Apidae (*Melipona spp* e *Apis melífera*) (VENTURIERE, 2000).

O fruto é um legume deiscente mono-alado, com asa papirácea e quando maduro, apresenta coloração amarronzada. As sementes geralmente possuem dispersão anemocórica e apresentam dormência devido à impermeabilidade do tegumento (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005). Quanto à propagação vegetativa, estudos apontam bons resultados quanto ao uso dos métodos de estaquia via ácido indolbutírico (AIB) e micropropagação (ROSA, 2006; OHASHI, 2005).

O melhoramento genético da espécie ainda se encontra em fase inicial de avaliação e seleção de árvores superiores para testes clonais, conduzidos por pesquisadores da Embrapa e universidades. Entretanto, algumas evidências têm sido encontradas, tais como, indivíduos com diferença na casca, com casca lisa e lenticelas pequenas e, cascas rugosa e lenticelas grandes (OHASHI, 2005; OHASHI et al., 2010).

A espécie é não noduladora, apresentando associação simbiótica mais efetiva com fungos micorrízicos (SIVIERO et al., 2008), sendo evidente a contribuição do fósforo no crescimento rápido do paricá. Entretanto, esse mutualismo depende das condições de microbiota, que podem ser reduzidas pelo grau de degradação do solo.

Estudos apontam que os plantios de paricá em áreas degradadas contribuem para o aumento de fertilidade e da fauna edáfica, nas primeiras camadas (0 a 10 cm) do solo (PEREIRA JR, 2011) pelo aporte de carbono e ciclagem de nutriente, provenientes da deposição de liteira e produção de raízes finas no solo (SILVA et al., 2011). Apontada como uma espécie nativa viável para a recuperação de áreas degradadas ou em vias de degradação (BRIENZA JUNIOR et al., 2009 RUIVO et al., 2010).

2.1.2 Silvicultura da espécie

Os plantios de paricá vêm crescendo desde a década de 1990, mas só nos últimos 10 anos, a espécie tem ganhado destaque, entre as espécies nativas plantadas em escala comercial, ocupando 87.901 hectares no Pará, Maranhão e Tocantins (ABRAF, 2013). Sua inserção é feita em cultivos homogêneos, em consórcios florestais e em arranjos agroflorestais, apresentando alto desempenho nesses sistemas de produção (MARQUES; YARED; SIVIERO, 2006; DIAS-FILHO, 2006; SOUZA et al., 2008).

As sementes são obtidas em matrizes, na ampla área de distribuição natural da espécie (OHASHI, 2005). A comercialização e uso ocorrem nos estados da Amazônia brasileira, boliviana (UGARTE-GUERRA; ALEMAN, 2010) e peruana (FLORES, 2010; CORNELIUS, 2010). As sementes devem sofrer quebra de dormência para acelerar o processo de germinação, através de métodos mecânicos (LEÃO et al., 2011) e químicos (CRUZ et al., 2007). Geralmente as mudas são produzidas em viveiros pelas empresas reflorestadoras (Figura 2) e levadas a campo com de 25 a 35 cm de altura (SOUZA, 2003).

No plantio de mudas, os silvicultores vêm utilizando o hidrogel com a função de reter a umidade no solo e diminuir a frequência das irrigações (CHIRINO et al., 2011). As mudas são colocadas em uma plantadeira acoplada a um dispositivo de aplicação do produto. Esta técnica vem se mostrando eficiente em plantios de *Eucalyptus spp.*, possibilitando a manutenção hídrica às mudas, Lopes et al. (2010) verificaram resistência ao déficit hídrico e manutenção da umidade por 20 dias, nas áreas com aplicação do hidrogel, e 13 dias nas mudas sem aplicação do produto nas covas de plantio.

Figura 2 - Produção de mudas de paricá em Dom Eliseu, no Pará

Em escala comercial, os espaçamentos mais utilizados são 4 m x 4 m, 4 m x 3 m e 3 m x 4 m, e variam de acordo com a finalidade do empreendimento, a facilidade de mecanização na implantação, manutenção e exploração, além de avaliações “por tentativa e erro” para encontrar a melhor expressão de crescimento do paricá. Segundo Leles et al. (1998) e Rondon (2002), o crescimento em altura e DAP são influenciados nos diferentes espaçamentos, quando inadequados podem aumentar os efeitos do ambiente sobre a espécie, tais como, a demanda hídrica da planta, intensificar a competição interespecífica por luz, diminuir a área de ocupação e disponibilidade de nutrientes.

Rondon (2002) avaliando diferentes espaçamentos no Mato Grosso verificou maiores incrementos em diâmetro e altura, nos espaçamentos (4 m x 3 m e 4 m x 4 m). No Pará, Roffmann et al. (2011) também obtiveram resultados satisfatórios em volume (m^3), quando comparado às espécies tradicionais (*Pinus* e *Eucalyptus*) sob o espaçamento 4m x 4m.

No entanto, as expectativas atuais são para reduzir o espaçamento para 3 m x 3,5 m, 3 m x 3 m e 3 m x 2,5 m, aumentando assim o número de indivíduos por hectare, objetivando a realização de desbastes ao longo do tempo. Porém, estudos apontam que espaçamentos muito reduzidos podem influenciar na diminuição do diâmetro das toras e maior heterogeneidade do povoamento pela presença de árvores dominadas (RONDON, 2002).

Essa opção pode apresentar desvantagens em planejamentos inadequados, podendo resultar na estagnação prematura do crescimento, causando baixa atividade fotossintética e mortalidade, corroborando com resultados de Sousa (2011), que observou maior taxa de mortalidade aos 40 meses, nos espaçamentos mais adensados (4,0 m x 2,0 m) e (4 m x 2,5 m).

Além dos fatores espaçamento, espécie, idade, manejo, outro fator afeta a capacidade produtiva do povoamento florestal, que é a qualidade do sítio (SCOLFORO, 1993; CRUZ et al., 2008). Ambientes de baixa produtividade, geralmente, conduzem indivíduos mais cônicos, de maiores alturas e menores diâmetros. Dessa forma, as análises de condições

edafoclimáticas e biológicas de forma integrada são fundamentais para a definição de estratégias nos plantios de árvores.

Quanto à rotação dos plantios de paricá, esta varia de acordo com a finalidade. Em Dom Eliseu e Paragominas, no Estado do Pará, a espécie vem se destacando em colheitas em ciclos de 6 a 7 anos, com diâmetro médio em torno de 21 cm e altura de 15 m, geralmente utilizadas para fins de compensado (GALEÃO et al., 2006).

Segundo Vidaurre et al. (2012) a produtividade média anual dos plantios é na faixa de 30 a 35 m³. ha⁻¹. ano⁻¹. Esses valores são superiores ao do *Pinus sp.*, que é de 25 a 30 m³. ha⁻¹. ano⁻¹, e da *Tectona grandis* com 15 a 20 m³. ha⁻¹. ano⁻¹ (IWAKIRI et al., 2010), ficando abaixo de plantios de *Eucalyptus sp.* que atingem no Estado de São Paulo valores médios de 45 m³. ha⁻¹. ano⁻¹ (CARVALHO et al., 2012), podendo chegar até 60 m³. ha⁻¹. ano⁻¹ em povoamentos clonais, com uso de tecnologias e sistema de manejo apropriados.

No Pará, o preço pago pelo metro cúbico de paricá pela indústria madeireira em Dom Eliseu é de R\$ 140,0, superior ao preço do *Eucalyptus spp.* na região (informação pessoal). No município, segundo Marques; Yared e Siviero (2006), o custo de implantação de um hectare de paricá, durante os quatro primeiros anos, no espaçamento 4 m x 4 m, era de R\$ 3,30 por planta, correspondendo R\$ 2.062,50 por hectare, ou seja, US\$ 1,057.69, comparando-se com o custo de implantação do eucalipto no estado do Espírito Santo que, no primeiro ano, demanda um investimento de R\$ 2.884,99 ha⁻¹ (US\$1479.48), correspondente a 76% do total dos custos, no período de seis anos (CARMO et al., 2011).

No caso do paricá, a valorização da madeira está diretamente relacionada ao avanço tecnológico no torno de laminação. A adaptação trouxe mudanças do uso do torno tradicional (torno de fuso) para o torno desfolhador tracionado, sem garras, movidos por rolos que pressionam a tora contra a faca. Essa tecnologia, desenvolvida em Dom Eliseu, no Pará, vem proporcionando rendimento em laminação da ordem de 70 a 80 %, variando de acordo com diâmetro mínimo de tora e qualidade de fuste (cilíndrico e sem deformações) (Informação pessoal). O torno passou a ser vendido em escala comercial, cujo valor varia em torno dos R\$ 424.000,00 reais (BENECKE, 2013) e recebeu o apelido do seu inventor, Sr. Silvio D'Agnoluzzo, “Sr. Nenê” (Figura 3).

Figura 3 - Torno de laminação de tração (a), Torno de laminação de fuso (b), Lâminas de paricá saindo do torno de tração (c) e Rolo resto do paricá (d)

Apesar dos bons rendimentos, existe uma praga que vem preocupando os silvicultores de paricá, a cigarra (*Quesadas gigas* Oliver), um inseto que possui ciclo hipometabólico, passando pelas fases de ovo, ninfa móvel, ninfa imóvel e adulta. As ninfas vivem no subsolo alimentando-se do xilema das raízes das plantas e causam sintomas de quedas de folhas e redução do crescimento (Figura 4), além de torná-las mais suscetíveis à ação de patógenos, levando à morte da planta (MACCAGNAN; MARTINELLI, 2004).

Os primeiros focos foram encontrados em 2002, em plantações de monocultivo em Paragominas, no Pará e Itinga, no Maranhão (ZANUNCIO et al., 2004). Outros casos de ataques foram encontrados por Soares et al. (2008) e por Lunz et al. (2010) em Dom Eliseu, causando perdas de 20% da produção nos plantios. Em 2012, estudos apontam que os ataques intensificaram, chegando causar morte de talhões inteiros (LUNZ et al., 2012).

Geralmente, os plantios são atacados entre 3 e 5 anos, com o período de ataque ainda indefinido. Segundo LUNZ et al. (2012), após os três primeiros anos, o sistema radicular já se encontra bem desenvolvido, tornando mais favorável aos sítios de alimentação das ninfas.

Figura 4 - Exemplo de ataque de cigarra no paricá em Dom Eliseu, PA

Outros problemas fitopatológicos e entomológicos vêm sendo identificados em plantios de paricá, como o cancro, cujo principal agente etiológico é o fungo *Lasiodiplodia theobromae* (TREMACOLDI; LUNZ; COSTA, 2009), e a mosca da madeira, com sintomas de ataques dos insetos da ordem díptera, família Pantophthalmidae, *Pantophthalmus kerteszi* e *P. chuni* (LUNZ et al., 2010).

Além dos plantios homogêneos, o paricá também vem apresentando bons resultados de sobrevivência quando utilizado em enriquecimento de clareiras (SCHULZE, 2008; GOMES et al., 2010), assim como, em sistemas agroflorestais, sendo uma das espécies mais recomendadas e citadas (16%) em trabalhos científicos envolvendo SAFs, em uma análise de 25 anos realizada por Brienza et al. (2009), escolhida por seu rápido crescimento e adaptação em áreas com baixos níveis de nutrientes (RUIVO et al., 2010). Porém, em sistemas agrosilvilpastoris, existem controvérsias sobre a viabilidade da espécie sob esse sistema de produção.

Para Dias-Filho (2006) e Dutra et al. (2007) a espécie apresenta potencial por apresentar crescimento inicial rápido, copa reduzida, fuste longo, boa capacidade de regeneração quando parcialmente danificada, por aumentar a eficiência biológica em pastagens, permitindo maior ciclagem de nutrientes e conforto animal, além da viabilidade econômica, pois os custos hora/máquina por hectare/ano com as operações de limpeza e manutenção de áreas de plantio, são reduzidos (MANESCHY et al., 2009). Em Paragominas, Azevedo et al. (2009) encontraram melhor desempenho em diâmetro e altura do paricá, comparado à outras espécie investigadas, apresentando uma interação significativa entre o componente florestal e a pastagem.

Estudos de Sousa et al. (1998) ressaltam que a espécie não deve ser indicada para áreas de pastagens degradadas, pois em solos com baixa fertilidade a espécie não apresenta bom desempenho, comprometendo a sustentabilidade das pastagens. Desta maneira, Dias-

Filho (2006) ressalta que a probabilidade de sucesso pode ser aumentada com o uso de espécie mais adaptada às condições do sítio e tolerantes ao estresse inerente a esse sistema, evidenciando a importância de conhecer as condições das áreas de plantios e as necessidades edafoclimáticas das espécies.

Mesmo sendo uma espécie com plantios em expansão, existe pouca informação a respeito de condições biofísicas que favorecem ou desfavorecem o desempenho do paricá. A espécie necessita de condições nutricionais adequadas, tais como, solos com pH superiores a 4,5, responde favoravelmente ao preparo de área com aplicação de N, P, Ca, Mg, Fe e B, porém seu desempenho é bastante reduzido em solos muito argilosos, hidromórficos, compactados ou com alto teor de alumínio (SOUZA et al., 2003; ROSA et al., 2009).

Há predominância do paricá em áreas com temperatura média do ar entre 25,0 e 26,5° C e altitudes até 300 m (MARTORANO et al., 2011), sendo bastante suscetível aos danos causados por ventos fortes, principalmente nos estádios iniciais (1 a 2 anos) de desenvolvimento (SOUZA et al., 2003).

Outro fator importante é a deficiência hídrica, capaz de causar alterações na fisiologia da planta, com reflexos no seu desempenho (CARVALHO, 2005), cujos valores acima de 180 mm podem limitar a expressão em crescimento (MARTORANO et al., 2011). Assim, Ribeiro et al. (2011) considerou adequabilidade baixa para essa espécie no estado do Espírito Santo, pois as médias anuais de precipitação não ultrapassam a 1.550,0 mm, apontando a oferta hídrica como fator limitante. Essa também pode ser a causa de insucessos de plantio no Mato Grosso, pois a espécie apresentou alto rendimento em biomassa em Alta Floresta e Sorriso, mas em outras regiões elevado índice de mortalidade, sem causa conhecida (REIS; PALUDZYSZYN FILHO, 2011).

2.2 Bens e serviços do paricá

O paricá apresenta alto potencial de aproveitamento de uso, destacando-se:

- Madeira: Principal produto, comumente utilizada na fabricação de painéis de compensado (IWAKIRI et al., 2010); piso multi-laminado (engenheirado) (EXPAMA, 2013); papel e celulose - ainda sob estudos de viabilidade (VIDAURRE, 2010); e carvão para energia (VIDAURRE et al., 2012);
- Sementes: Produção de mudas (ROSA et al., 2009) e artesanato;
- Resíduos: Fabricação de painéis de madeira reconstituída (MDF- Medium-density fibreboard) (FLORAPLAC, 2012), carvão para energia na forma de briquetes (VIDAURRE et al., 2012) e substrato para orquídeas (Grupo Arboris).

Além dos diferentes bens oferecidos para usos industriais e não industriais, os plantios florestais desempenham papel importante na fertilidade dos solos, no sequestro de carbono atmosférico, no ciclo hidrológico e na melhoria da conectividade de mosaicos florestais para a conservação da biodiversidade e do combate à desertificação (KANNINEN, 2010; HALL et al., 2012).

No Pará, os plantios são introduzidos em áreas impactadas por mudanças de uso do solo (antigas pastagens ou áreas de agricultura abandonadas por baixa fertilidade), podendo torná-las produtivas e contribuir com a oferta de serviços ambientais (RUIVO et al., 2010).

Apesar da copa ser pouco densa, o paricá contribui para a cobertura do solo, auxiliando na redução do potencial erosivo das chuvas, permitindo maior infiltração e drenagem (CASTRO et al., 2008). Participa também, no aporte de matéria orgânica ao solo, decorrente da queda, deposição e decomposição das folhas e galhos, melhorando as características físicas, químicas e microbiológicas do solo (SILVA et al., 2011).

Além da funcionalidade das raízes finas (diâmetro <2 mm) na captura de água e nutrientes nos primeiros 30 cm de profundidade do solo, promove, juntamente com a liteira, um isolamento térmico no solo, minimizando efeito de perda de água por evapotranspiração (COSTA; PORTELA, 2010; SILVA et al., 2011).

As florestas plantadas apresentam também potencial para mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), por meio do sequestro de carbono por estoque de biomassa lenhosa e não lenhosa (DEWAR; CANNELL, 1992), pois as áreas sob florestas possuem uma tendência maior de acúmulo de carbono devido à decomposição mais lenta, quando comparado ao solo agrícola (CERRI et al., 2010) e Pastagens (CARDOSO et al., 2010).

Estudos apontam que as florestas secundárias e plantações jovens fixam mais carbono que florestas primárias e plantios maduros, pois esses atingem um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono e liberação por decomposição da madeira morta e das árvores em senescência (AREVALO et al., 2002).

Na figura 5 é apresentado um esquema para exemplificar os principais bens e serviços do paricá.

Figura 5 - Bens e serviços do Paricá

2.3 Legislação aplicada aos plantios de paricá

No Estado do Pará, a espécie encontra-se na lista do Anexo I da instrução normativa 15/2011 (PARÁ, 2011), da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA), portanto, seu corte, colheita, transporte e industrialização de produtos, oriundos de floresta plantada são autorizados por órgão ambientais, por meio de emissão de licenças, conforme disposto no Decreto Estadual nº 216 de 22/09/2011. Também, é permitido o plantio em área de reserva legal, para fins de manutenção, recomposição, condução da regeneração natural, compensação e recomposição em imóveis rurais, Decreto Estadual nº 2.099 (PARÁ, 2010), porém a colheita e comercialização dependerão de projeto técnico (plano de manejo), com análise, vistoria de campo e autorização a ser emitida pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (Art. 3. IN 15/2011 de 07/11/2011).

2.4 Zoneamento Florestal

Um dos grandes desafios da Silvicultura é identificar áreas aptas para plantios de espécie de rápido crescimento que possam atender a demanda por matéria-prima de base florestal, com eficiência produtiva e menores riscos, em um horizonte de planejamento em longo prazo (HIGA; WREGE, 2010; VALVERDE et al., 2011).

Nesse contexto, o zoneamento apresenta-se como uma importante ferramenta para auxiliar no planejamento de implantação florestal, em que são considerados as condições do meio físico associadas às necessidades ecofisiológicas da espécie estudada, seguindo pressupostos de potencialidades e vocação de subespaços que compõem um território (Ab'Saber, 1989).

Nas avaliações, consideram-se grupos de variáveis físicas e/ou biológicas condicionantes ao crescimento da cultura florestal, estudada por ordem de prioridade e influência, os quais caracterizam o tipo de zoneamento realizado, tais como, Zoneamento edafoclimático (FEREZ, 2010); Zoneamento climático (HIGA; WREGE, 2010), Zoneamento ecológico (ARAÚJO; MATRICARDI; NAPPO, 2012), Zoneamento agroecológico (SPERANDIO et al. 2010), Zoneamento agroclimático (RIBEIRO et al. 2011; YAMADA, 2011), entre outros.

Entretanto, uma das características comuns entre eles é a utilização de conhecimentos sobre as necessidades climáticas, topográficas, edáficas e/ou ecológicas, das espécies baseando-se nas condições de ocorrência natural para a definição de zonas preferenciais, pois as plantas respondem às condições do ambiente (MARTORANO et al., 2011) e a expressão do crescimento é influenciada pela composição genética e a interação com o ambiente (GOLLE et al., 2009). Para O'Brien e O'Brien (1995) para cada planta existe um ambiente ecológico com as funções harmonicamente ajustadas, e sua ocupação no ambiente reflete eficiência no aproveitamento dos recursos.

Para compreender as interações desses fatores e os seus efeitos sobre a expressão do crescimento da cultura florestal, de forma a aumentar precisão silvicultural, é importante avaliar a influência de fatores abióticos que expressem relações sistêmicas com a distribuição natural das espécies.

2.4.1 Fatores abióticos

O conhecimento da influência de características climáticas, topográficas e físico-químicas do solo sobre a distribuição geográfica, crescimento e desenvolvimento de espécies

vegetais auxiliam no planejamento, gestão e manejo das florestas naturais e plantadas. Constituinte uma das informações principais na identificação de padrões que compõem estudos de zoneamento, revisados nesta pesquisa.

2.4.1.1 Clima

Entre os fatores que apresentam estreita relação com o crescimento vegetal destaca-se o clima, apontado como responsável pelas maiores variações de produtividade e fertilidade do solo em povoamento florestal, além de ser um dos fatores de maior risco quando não é favorável à espécie (PEREIRA; ANGELOSI; SENTELHAS, 2002; HIGA et al., 2008).

A temperatura do ar é uma variável meteorológica fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Em condições de baixas temperaturas ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) podem ocorrer geadas e limitar o crescimento, causando morte da planta, por queima de ponteiro e perda total das folhas, limitando a capacidade de resistência e adaptação de algumas espécies (HIGA; WREGE, 2010), além de torná-las mais suscetível à ação de patógenos (SANTOS; AUER; GRICOLETTI, 2001).

Por outro lado, as temperaturas muito altas e baixos níveis de umidade influenciam nos processos fisiológicos da planta, na germinação das sementes e nas atividades das raízes (LARCHER, 2004) e está diretamente associada aos níveis de deficiência hídrica, fator limitante para os vegetais, capazes de diminuir a taxa fotossintética, que normalmente aumenta com a idade da planta (SANTOS; CARLESSO, 1998).

A deficiência hídrica, bastante estudada para culturas anuais, causa aumento da taxa respiratória; redução do potencial de água na folha, redução do desenvolvimento da folha por fechamento dos estômatos durante o dia controlando a perda de água (DALMAGO et al., 2006); redução do aporte nutricional via fluxo de massa e difusão; diminuição na velocidade de mineralização da matéria orgânica; e em grau mais elevado de deficiência hídrica, o próprio colapso funcional em níveis citoplasmático (SOUZA et al., 2006), intensificando no período crítico da planta, quando ela está em florescimento (BERGAMASCHI et al., 2006).

Em condições de baixa oferta hídrica, a planta gasta mais energia com estruturas necessárias para absorção e transporte de água (raízes e xilema), do que com produção de massa lenhosa, resultando em queda de produção, pois a temperatura da folha afeta diretamente a economia de água da planta, diante disso, quanto maior for o balanço de radiação da folha, mais água a planta deverá transportar do solo até as folhas e dessas para a atmosfera (PILLAR, 1995; DOMECH et al., 2012).

Outro fator que intensifica o estresse da planta é a demanda evaporativa da atmosfera, causando maior transpiração, o que requer maior fluxo de água do solo, aumentando assim o déficit de pressão de vapor, que atua na condutância estomática e nas taxas evapotranspiratórias, com efeitos diretos no crescimento e produtividade (COSTA; MARENGO, 2007; HIGA; WREGE, 2010; LAGO et al., 2011).

Em contrapartida, quando analisados em escala de planejamento, os excedentes hídricos podem causar maior vulnerabilidade à erosividade das chuvas, alagamento, lixiviação de nutrientes e, aumentar a erodibilidade dos solos, principalmente em áreas degradadas, além de favorecer o aparecimento de problemas fitossanitários devido à alta umidade (AUER; GRICOLETTE JR; SANTOS; 2001).

Portanto, o conhecimento das condições térmica e hídrica favorece o planejamento florestal, pois permite o conhecimento das épocas de maiores estresses e vulnerabilidade da planta, auxiliando os tomadores de decisão quanto à escolha de estratégias de manejo, em que as condições de temperatura do ar, precipitação pluvial e deficiência hídrica são apontadas como as variáveis mais limitantes a silvicultura (BOOTH et al., 1998; RIBEIRO et al., 2011)

Desta forma, o clima apresenta-se como um forte indicador para ser utilizado na delimitação de áreas com aptidão (áreas homogêneas dentro de um macroclima) para espécies vegetais, sendo necessário o mapeamento climático e informações sobre as necessidades da espécie a ser zoneada (YAMADA, 2011; RIBEIRO et al., 2011).

Entre as diversas ferramentas utilizadas para estimativa de variáveis climatológicas em zoneamentos destacam-se o balanço hídrico, as equações de regressões múltiplas e imagens de satélites. O balanço hídrico estima a disponibilidade de água no solo, baseado na precipitação, na evapotranspiração potencial (ETP) e na capacidade de armazenamento de água no solo, exemplificando as saídas e entradas de água no solo vegetado (PEREIRA et al., 2002). Podem existir locais com as mesmas faixas de precipitação pluvial, porém com diferentes disponibilidades de água no solo, devido aos fatores ETP e capacidade de armazenamento de água no solo.

Entretanto, existe um componente do balanço hídrico que se deve dar especial atenção, que é a capacidade de água disponível no solo (CAD), calculada pela diferença de umidade entre a capacidade de campo (a máxima quantidade de água que o solo pode reter) e o ponto de murcha permanente (teor de umidade no solo, em que abaixo dele a planta não conseguirá captar água), considerando a profundidade efetiva das raízes, principal estrutura

responsável pela captação de água e nutrientes disponíveis no solo (BROUWER et al., 1985; HODGE, 2009).

A organização do banco de dados climáticos de uma região é uma atividade criteriosa e árdua, pois exige a avaliação de séries homogêneas, verificação, teste e validação de uma grande quantidade de dados, oriundas de séries históricas de monitoramento, podendo ocorrer períodos com falhas de dados, além de baixa densidade de estações meteorológicas para subsidiar análises do padrão climático de uma região (PANDOLFO et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2008).

O monitoramento das condições de tempo e clima no Brasil, principalmente na Amazônia, ainda é muito deficitário para dar suporte às avaliações agrometeorológicas em pólos de produção, que necessitam de informações sobre a climatologia, sazonalidades e probabilidade de ocorrência de eventos extremos de uma região ou local de interesse.

2.4.1.2 Altitude e relevo

A topografia é um dos fatores que atuam na dinâmica do fluxo de massa e energia para atmosfera, influenciando no regime climático de uma região. Em escala espacial, o topoclima modulado pela topografia constitui um dos fatores principais ao padrão climático de uma local com relevo movimentado, devido à rugosidade do terreno (NUNES, 1998).

A influência da altitude sobre as plantas está relacionada principalmente ao gradiente térmico, pois a cada 100 m de altitude, ocorrem reduções de 0,6°C na temperatura do ar (OMETTTO, 1981; MARTORANO et al., 1998). De acordo com a elevação, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida, assim como as taxas fotossintéticas e respiratórias (LARCHER, 2004). Com o decréscimo de pressão atmosférica ocorre redução nas concentrações do O₂ e CO₂, que são gases fundamentais aos processos fitofisiológicos. Intensificação da velocidade do vento e forte incidência da radiação solar em dias de céu limpo, também apresentam condições limitantes para algumas espécies (ZIELLO *et al.*, 2009).

Quanto à precipitação pluvial, em regiões com maiores altitudes o ar úmido sobe e condensa, originando a formação de nuvens e chuvas mais frequentes, apresentando um ambiente favorável em termos de umidade para algumas espécies (FENILLE; CARDIM, 2007).

Por outro lado, em menores altitudes, as temperaturas são mais elevadas influenciando diretamente no metabolismo das plantas. Consequentemente, ocorre maior demanda evapotranspiratória, com menores valores de condutância estomática, devido ao maior déficit

de pressão de vapor, e a oferta hídrica do solo precisa suprir a demanda da planta e da atmosfera (LARCHER, 2004).

Quanto aos níveis de declividade, existem especificidades importantes que podem influenciar no crescimento da cultura florestal, sendo um fator determinante na escolha do uso por aptidão do solo (RAMALHO; BEEK, 1995). A declividade pode ser responsável por microclimas diferentes ou subdividir zonas dentro de um mesmo estrato climático, mas com características topográficas distintas, capazes de apresentar diferenças de luminosidade, temperatura do ar, regime de nutrientes do solo e riscos de erosão (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993), além de delimitar as práticas de manejo de solo e mecanização, atentando-se para as restrições da legislação quanto às áreas de preservação permanente (APP) (BRASIL, 2012).

Devido a isso, estudos estabeleceram níveis de declividades para avaliar o grau de aptidão e auxiliar práticas florestais, principalmente em áreas acidentadas, com condições topográficas desfavoráveis que exigem alto nível de planejamento e detalhamento (SIMÕES; FENNER, 2010). Desta forma, Ramalho e Beek (1995) apresentam três níveis de declividade: nível A (17° a 45°) representa a ausência de práticas mecanizadas e baixo nível tecnológico; nível B ($11,3^{\circ}$ a 17°) mecanização rudimentar e médio nível tecnológico; nível C ($11,3^{\circ}$ a 0°) mecanizado e alto nível tecnológico.

2.4.1.3 Solos

O solo também é um fator determinante no desenvolvimento das plantas e está diretamente relacionado à infiltração, à retenção e à disponibilização de água e nutrientes. Segundo Rigatto, Dedecek e Mattos (2005), as classes de solo agregam informações importantes, destacando-se a profundidade do solo, a classe textural, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, o pH, a atividade química na fração coloidal e o teor de compactação, cuja produtividade depende das interações dos atributos físicos e químicos do solo, com água, o ar e a cobertura vegetal.

No entanto, no Brasil existe baixa disponibilidade de levantamentos de solos em nível de detalhes, sobretudo na Amazônia, onde pouco se sabe a respeito das respostas de espécies arbóreas em relação às diferentes características do solo (FEARNSIDE; LEAL FILHO, 2001). A caracterização da variabilidade espacial de atributos do solo no campo pode ser realizada, por meio de amostragem e análise de solo, porém demanda tempo e custos elevados (BOTTEGA et al. 2013).

Os solos apresentam fundamental importância na análise de produtividade de um sítio florestal, porque é onde são aplicadas as mais variadas técnicas de manejo, muitas vezes partindo de informações em escala que não permite maior nível de detalhe.

Na silvicultura, as tendências visam a utilizar a integração do maior número de variáveis ecológicas, econômicas e silviculturais, apresentando-se como maior limitação a escala de detalhe das informações disponíveis. O uso integrado dessas informações pode ser viabilizado com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a delimitação de zonas homogêneas, respeitando-se a escala de detalhe dos planos de informações.

2.5 Geotecnologias aplicadas à silvicultura

As geotecnologias, representadas pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global (GPS) vêm contribuindo de forma significativa para o avanço do setor florestal, permitindo maior conhecimento das áreas manejadas e melhor gerenciamento da produção. No zoneamento sua importância se dá por permitir observações qualitativas e quantitativas, monitoradas no espaço e no tempo, capazes de processar volume de dados e gerar novas informações.

2.5.1 Sistemas de informações geográficas (SIG)

O geoprocessamento pode desempenhar um importante papel no monitoramento de florestas naturais e implantadas com o tratamento da informação espacial, através do uso de banco de dados e ferramentas computacionais que permitem a coleta, manipulação, análises complexas de integração de dados e geração de produtos (VETTORAZZI, 1996; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Para Couto (1993), o grande poder de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é a sua capacidade de integração de variáveis de fontes diferentes e relacioná-las através da localização espacial, agregando mais informação ao objeto de estudo, o que é significativo no setor de planejamento florestal, pois a implantação e o gerenciamento das atividades silviculturais exigem avaliações e conhecimento simultâneo de clima, solo, relevo, especificidades das espécies e rendimentos dos talhões, aumentando possibilidades de estimativa do potencial produtivo (ORTIZ et al., 2006), cujo objetivo final é orientar a tomada de decisão de forma rápida e precisa, minimizando custos e otimizando o uso dos recursos.

No entanto, as empresas apresentam dificuldades para organizar um banco de dados relacional com informações confiáveis (BOLFE et al., 2004) e acabam optando por avaliações de “tentativa e erro” acarretando muitas vezes projetos mal planejados.

Porém, com o avanço em tecnologia da informação, aumentou a oferta de processadores mais potentes para manipular um volume considerável de variáveis, no menor tempo possível. Também, sistemas computacionais foram desenvolvidos com o objetivo de facilitar o acesso e manipulação pelos usuários.

Além dos softwares privados, consolidados no mercado de geoprocessamento, existem cerca de 30 softwares de geoprocessamento disponíveis gratuitamente na internet (GEOSABER, 2013), cada qual com suas especificidades. Contudo, diversos trabalhos têm mostrado o potencial de geotecnologia no setor florestal, na identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003); no mapeamento de uso e cobertura do solo (VALENTE; VETTORAZZI, 2003); no mapeamento de risco de incêndios florestais (SILVEIRA; VETTORAZZI; VALENTE, 2008); na avaliação da disponibilidade de biomassa para produção de energia renovável (ZAMBELLI et al., 2012), na classificação de sítio florestal (BILA; SANQUETTA; MACHADO, 2012), e em zoneamentos de espécies florestais (HIGA; WREGGE, 2010; BRIENZA *et al.*, 2009; MARTORANO et al., 2011).

2.5.2 Álgebra de mapas

Também chamada de modelagem cartográfica, álgebra de mapas é uma técnica que utiliza fundamentos matemáticos, estatísticos e lógicos sobre planos de informações (biblioteca de mapas) em ambiente SIG, capaz de fazer análises espaciais, fator que distingue o SIG de outros sistemas computacionais (TOMLIN, 1994; SHIRABE, 2012).

Vem sendo aplicada em estudos de zoneamento como o objetivo de integrar informações espaciais de determinadas variáveis (atributos) para a geração de novas informações, propondo-se a representar “o que é”, “o que poderia ser” ou “o que deveria ser”, na tentativa de responder as hipóteses testadas e gerar outras (OHARA et al., 2003; SILVA; ROSA; FARINA, 2012).

Partindo do princípio que cada camada do mapa é composta por zonas ou classes, que não precisam ser contínuas apenas inclusiva ou exclusiva, representada por valores numéricos, associados a localizações (elementos básicos da cartografia), e cada local, por sua vez, consiste de um par de valores de coordenadas que especificam o seu endereço, que é a menor unidade de um espaço geográfico (SAMET, 1996).

Conforme Tomlin (1990), em função do valor em cada posição esses atributos são manipulados por operadores usando conjuntos de funções integradas da cartografia, com o objetivo de encontrar correlação espacial entre eles. Podem ser aritméticos, relacionais,

booleanos, lógicos, ou combinatórios aplicados sobre dados representados na forma matricial, ou *raster*, capazes de modelar fenômenos simples a complexos.

Sua praticidade, fácil compreensão e apresentação dos resultados fazem desta técnica uma das mais utilizadas em ambiente SIG, para o planejamento ambiental, tais como, na identificação e avaliação áreas favoráveis a distribuição de espécie vegetais (MIRANDA *et al.*, 2011), na avaliação de áreas para aptidão florestal e agrícola (ASSAD *et al.*, 2009; YAMADA, 2011) e vulnerabilidade de ambientes (NASCIMENTO; PETTA, 2008; PAULA; SOUZA, 2011), todos baseados na teoria de sistemas.

No entanto, apenas a habilidade no manuseio das ferramentas e operadores não garante a eficiência da análise espacial integrada. De acordo com Silva e Santos (2004) é preciso conhecer a importância de cada elemento componente do sistema (biofísicos, econômicos, sociais e institucionais), na tentativa de compreender seus comportamentos e associações, utilizando-se também critérios estatísticos.

A aplicação de técnicas de análise multivariada apresenta-se como importante etapa de estudos de zoneamento de plantas, já que envolvem a interpretação global dos conjuntos de dados, contendo diversas variáveis respostas, considerando as correlações, semelhanças e diferenças entre elas (PINTO *et al.*, 2013). Com isso, a precisão na definição de intervalos de classe para os atributos antes de integrá-los é aumentada (ASSAD *et al.*, 2009).

Outro fator importante que influencia nas análises é a escala, pois dela depende o detalhamento e a concepção de homogeneidade ou heterogeneidade. Para Silva e Santos (2004) o que se imagina homogêneo nem sempre o é de fato e diferenças entre homogeneidade e heterogeneidade são menores entre as macropaisagens. Entretanto, para Câmara *et al.* (2004) a determinação dos grandes padrões da paisagem e fenômenos geográficos são úteis e trazem contribuições científicas, uma vez que, o zoneamento não é estático, é dinâmico, e deve ser aperfeiçoado sempre que novos conhecimentos técnico-científicos forem se formando, sendo elaborados de forma criteriosa, com os objetivos bem definidos. ¹

Com a compreensão das informações existentes de forma integrada é possível ordenar as percepções acerca das condições atuais e futuras gerando cenários dentro de um horizonte de tempo, capazes de subsidiar o planejamento de tomadores de decisão de instituições públicas e privadas em busca de soluções para alcançar uma produção eficiente, dentro de uma lógica sustentável.

2.5.3 Sensoriamento remoto

Outra técnica que subsidia atividade de mapeamento de superfícies é o sensoriamento remoto, uma tecnologia empregada em escala mundial (MENESES; ALMEIDA, 2012), capaz de gerar informação sobre alvos na superfície terrestre, através de sensores que atuam de forma passiva ou ativa, via terrestre, aerotransportados ou em satélites orbitais, registrando a radiação eletromagnética (REM) resultante da interação desta com o meio (JENSEN, 2009).

Diversos tipos de dados de sensores remoto com diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais têm sido usados pela pesquisa florestal e por empresas para detectar, identificar, classificar, avaliar e medir vários tipo de cobertura florestal e suas mudanças, através de técnicas de processamento digital de imagens, sobre a forma de mapas digitais (HUSSIN; BIJKER, 2000). Entre os principais estão a fotografia aérea, o sensor hiperespectral HSS (*Hiperespectral Scanner System*); sensor multiespectral MSS (*Multiespectral Scanner System*); Radar (*Radio Detection and Ranging*); Lidar (*Light Detection and Ranging*) e videografia aérea (JENSEN, 2009).

No manejo florestal, o sistema de monitoramento por satélite é bastante usado para permitir o controle e fiscalização da extração de madeira nas áreas de concessão florestal, assim como em área de atividades madeireiras ilegais, sendo um instrumento estratégico para subsidiar as atividades do Serviço Florestal Brasileiro antes, durante e depois do processo de concessão florestal (PINAGÉ et al., 2011), especialmente na Amazônia, que apresenta carência de mapeamento de uso e cobertura do solo, sobre a vegetação, em áreas manejáveis e no planejamento de gestão de áreas protegidas (AQUINO et al., 2005), bem como na detecção de ações ilegais na Floresta.

Também, esta geotecnologia pode orientar análises de padrões da paisagem identificando mudanças e perda de florestas ao longo do tempo, causadas por fatores naturais e/ou antrópicos, como taxas de desmatamento monitoradas pelo PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite-INPE) no Brasil, e registro de focos de incêndio por focos de calor, dando suporte a iniciativas políticas e locais para mitigação de mudanças climáticas, e conservação da biodiversidade (FREITAS; SHIMABUKURO, 2007; BAUMANN et al., 2012; MARGONO et al., 2012).

No setor de floresta plantada, o sensoriamento remoto também é bastante promissor. Tem sido usado para estimar a produtividade e o volume de povoamentos florestais, através de transformações radiométricas, ou seja, índices de vegetação aliado a verificação de campo

(BERRA et al., 2011; LI; FOX, 2012). Isso é possível porque a vegetação responder as faixas do vermelho e infravermelho próximo, faixas mais indicadas para estimativa de biomassa foliar e outras variáveis biofísicas relacionadas à vegetação (PARISE; VETORAZZI, 2005).

Segundo JENSEN (2009) as plantas absorvem mais energia na faixa do azul e do vermelho, regiões espectrais necessárias à fotossíntese e na faixa do infravermelho próximo elas refletem na ordem de 76% (planta sadia). Como uma estratégia de adaptação, a estrutura celular da planta causa um espalhamento de energia para que as folhas não absorvam com a mesma eficiência que no visível, refletindo e/ou transmitindo para camada de folhas inferiores ou para o solo.

Entre os índices existentes, o mais conhecido e usual no monitoramento da vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), desenvolvido por Rouse et al. (1973), determinado pela relação entre as reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Esse índice pode ser obtido através da matemática de bandas ou em forma de produto já processado, como os disponibilizado pela NASA.

As imagem dos sensores orbitais TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, são as mais utilizadas pelas possibilidades de aplicações e acessibilidade de forma gratuita, apresentando resultados satisfatórios na identificação da resposta espectral da vegetação na avaliação do NDVI, na estimativa de volume de plantios de *Pinus spp.*, em São Paulo (SOUZA; PONZONI, 1998) e *Eucalyptus spp.* no Rio Grande do Sul (BERRA et al., 2011); assim como, em análises espaço-temporal de áreas desflorestadas com série histórica de 20 anos na Indonésia, avaliadas por Margono et al. (2012), entre outros.

No entanto, apesar de apresentar resolução espacial de 30 m (no multiespectral) e 15 m (no pancromático), o LANDSAT imagia em faixas de 185 km e apresenta limitações quanto à resolução temporal, que é a cada 16 dias. Neste intervalo podem ocorrer imageamentos com presença de nuvens e forte alteração atmosférica, impossibilitando o monitoramento, principalmente em grandes áreas. Em 2011, o satélite da LANDSAT deixou de funcionar e o acesso às imagens foi suspenso, retornando em 2013, com o satélite LANDSAT-8.

Nesse sentido, as imagens do sensor multiespectral MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) acoplado ao satélite TERRA, apresentam-se como uma alternativa promissora, pois as imagens são registradas diariamente e fornecidas gratuitamente pela NASA sob a forma de imagens compostas, já processadas em níveis de processamento

que variam de 0 a 4, contendo os *pixels* de melhor qualidade radiométrica e geométrica do período analisado (D'ARCO et al., 2007).

As imagens possuem alta sensibilidade radiométrica (12bits), em 36 bandas espectrais, no intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético, além de bandas que são utilizadas para a correção de outras bandas, melhorando a qualidade da imagem (ANDERSON et al., 2003). Porém, suas aplicações têm apresentado melhor desempenho em áreas extensas, pois sua baixa a moderada resolução espacial (250m a 1000m) dificulta uma maior precisão em áreas pequenas, menores que 6,25 ha, gerando mistura espectral e contaminação por pixels vizinhos.

As pesquisas tem buscado desenvolver novas tecnologias de satélites, porém muitas informações podem ser extraídas dos satélites existentes, de forma a explorar o potencial do imageamento disponível e intensificar o uso de respostas espectrais na identificação de alvos de interesse.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O Estado do Pará localiza-se na porção oriental da Amazônia, entre as latitudes 2°30'N a 9°30'S e longitudes de 46°00'W a 59°00'W, sendo o segundo maior Estado da federação do Brasil, com a extensão de 1.247.689,5 km² e uma população de 7.321.493 habitantes, distribuídos em 144 municípios (IBGE, 2010). É composto pelas bacias hidrográficas do rio Amazonas, Tocantins e atlântico trecho Norte-Nordeste, por onde deságuam os rios Amazonas, Pará, Tocantins, Tapajós, Xingu e seus afluentes (ANA, 2013).

O Estado destaca-se por suas potencialidades hidráulicas e diversidade de rios. Possui duas das dez maiores hidrelétricas do Brasil (Usina de Tucuruí, em operação e Belo Monte, em fase de construção), além da maior ilha fluvio-marítima do mundo, a ilha do Marajó, na foz do rio Amazonas. Possui abundância de riquezas minerais (ferro, bauxita, manganês, calcário, ouro, alumina e estanho), contribuindo com 27% (524,2 milhões de reais) da arrecadação do Brasil, em Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais ou *royalty* da mineração (MALERBA; MILANEZ, 2012), e está inserido na exuberante floresta amazônica, com rica diversidade em flora e fauna (terrestre e aquática), composta por diversas regiões fitoecológicas (IBGE, 2008) que variam de florestas ombrófilas densas de terras baixas a savanas florestadas (cerradão) e savana gramíneo-lenhosa (campos) (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de vegetação no Estado do Pará segundo a classificação do IBGE

Fonte de dados: IBGE, 2008.

Entretanto, o Pará sofreu um processo acelerado de desflorestamento, atingindo 22% (274.491,69 km²) de áreas antropizadas mantendo-se na liderança em áreas desflorestadas nos últimos sete anos. Devido à forte pressão nacional e internacional para reduzir os níveis de desflorestamento na Amazônia por programas governamentais e não governamentais, bem como intensificação dos rigores de leis ambientais, houve reduções nas taxas de perda da cobertura florestal, a partir de 2005 (PRODES, 2013). Havendo municípios como Bragança, Capitão Poço, Garrafão do Norte e Dom Eliseu que apresentavam mais de 60% de áreas antropizadas (MARTORANO *et al.*, 2011), indicando a necessidade de recomposição da paisagem degradadas nos municípios do Estado.

Estudos apontam que o Estado do Pará possui grande potencialidade para a expansão do setor de base florestal (FILGUEIRAS *et al.*, 2011), cujo desafio atual é o planejamento de plantios em sistemas capazes de garantir o suprimento de material-prima renovável para atender a demanda crescente dos mercados nacional e internacional, recuperar paisagens degradadas, gerar fonte de trabalho e renda, conduzindo arranjos produtivos sustentáveis.

3.1.1 Clima

De acordo com a classificação de Köppen, adaptada por Martorano *et al.* (1993), o Pará apresenta três tipologias climática Af, Am e Aw, que correspondem a climas tropicais úmidos, sem estação fria e com temperatura média do mês menos quente acima de 18°C. Nas subzonas Af2 e Af3 as faixas pluviais anuais encontram-se entre 2.500 a 3.000 mm, em que, no mês menos chuvoso, as cotas são superiores a 60 mm. Na Am1, Am2, Am3 e Am4 os totais pluviais assemelham-se à tipologia Af, porém apresentam estação seca moderada, com precipitação pluvial no mês menos chuvoso inferior a 60 mm. No Aw3 e Aw4 os totais pluviais variam de 1.500 a 2.000 mm, com período seco até seis meses, com o mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60 mm. Segundo Moraes *et al.* (2005), o trimestre mais chuvoso no Pará é de fevereiro a abril, na maioria das localidades, que corresponde a 44% da precipitação anual, e o menos chuvoso é de agosto a outubro que corresponde a 9% da precipitação anual.

3.1.2 Geologia

Encontram-se identificados onze domínios tectônicos no Cráton Amazônico no Estado do Pará, com importância estratégica quando analisados os diversos tipos de ocorrências minerais, com mineralizações auríferas em depósitos do tipo placer e aquelas exploradas em depósitos primários (CARRINO; SOUZA FILHO, 2007; CPRM, 2008). Em

relação às coberturas sedimentares estão representadas oito bacias fanerozóicas e oito pré-cambrianas, divididas em oito províncias estruturais (Amazonas, Carajás, Transamazônica, Tocantins, Rondônia Jurema, Amazônia Central, Tapajós-Parima e Parnaíba) (CPRM, 2008).

A província Carajás é uma das maiores províncias minerais do planeta, a porção crustal mais antiga e melhor preservada do Cráton Amazônico, localizada no sudeste do estado. Em contraste, o domínio Rio Maria é caracterizado por uma crosta juvenil mesoarqueana, com sequências de *greenstone belts* e granitoides constituídas, de modo geral, por metabasaltos com proporções variadas de rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas félsicas a intermediárias, além de formações ferríferas bandadas e metassedimentares clásticas (CPRM, 2008).

3.1.3 Geomorfologia

A geomorfologia da região é caracterizada por apresentar quatro domínios e 35 unidades morfoestruturais, compostas por formações de planícies fluviais e marinhas, planaltos, depressões, chapadas, serras e colinas (IBGE, 2008).

A região do Marajó é marcada por uma brusca interrupção da planície de aluviões holocênicas da calha do Amazonas, logo abaixo da foz do Xingu. A montante corre o rio Amazonas em extensa planície, que está em pleno processo de colmatção, por mecanismos muito específicos daquele rio; a jusante, a sedimentação é mais intensa (INTERMINISTERIAL, 2006). No litoral, a nordeste do Estado, onde está inserida a Planície Costeira Bragantina, a distribuição dos ambientes morfo-sedimentares está intimamente relacionada ao regime de macromarés com até seis metros de amplitude. É constituída por sedimentos do Grupo Barreira, uma superfície plana arrasada, suavemente ondulada e fortemente dissecada, com cotas entre 50 m e 60 m, que diminuem progressivamente em direção à planície costeira, a norte (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996).

A noroeste do estado, no cenário de terras baixas da Amazônia, encontra-se uma região de planalto dissecado (IBGE, 2008), com presença de elevações originárias de rochas paleozóicas intrudidas por diques e soleiras de diabásio de idade juro-triássica, e cobertas por sedimentos mesozóico-cenozóicos, como o Domo de Monte Alegre, coluna sedimentar preservada com espessura de até 6.500 m, formado principalmente por rochas (RODRIGUES; MATTA; CRAVEIRO, 2007). Também são encontrados sítios arqueológicos e pinturas rupestres de grande valor cultural (PEREIRA, 2012).

Ao sul, encontra-se a unidade morfoestrutural da chapada do Caximbo, situada na zona de transição da Amazônia para o Serrado entre os Estado do Pará, Amazonas e Mato Grosso, alcançando cotas altimétricas de até 750 m. Nessa região são encontrados as Chapadas do Cachimbo, Serras do Cachimbo, a Depressão Periférica do Sul do Pará, os Planaltos Residuais da Amazônia Meridional e os Planaltos Residuais do Tapajós-Xingu. A Depressão Periférica tem sua origem vinculada a processos erosivos de larga atuação na borda da Bacia Amazônica, no seu interior, os modelados correspondem às formas de relevo suavemente convexos, com altitudes na ordem de 100m a 400 m e os Planaltos Residuais da Amazônia Meridional são constituídos de rochas cristalinas com formas de relevo em morros de topos convexos, chamados de pontões, de ocorrência difusa pela área (ICMBio, 2009).

3.1.4 Pedologia

À semelhança dos outros estados da Amazônia, os solos no Pará são geralmente ácidos e de baixa fertilidade, com altas concentrações de alumínio, níveis de fosfato muito reduzidos, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), redução na quantidade de carbono com a profundidade, extremamente argilosos e com elevada capacidade de retenção hídrica (DEMATE; DEMATÊ, 1993; FEARNSSIDE; LEAL FILHO, 2001). De acordo com a Embrapa Solos (2011), os solos encontrados no Estado do Pará são Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Argissolos Vermelhos Distróficos, Argissolos Vermelhos Eutróficos, Gleissolos Háplicos Ta Distróficos, Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, Gleissolos Sálcos Órticos, Gleissolos Sálcos Sódicos, Latossolos Amarelos Distróficos, Latossolos Vermelhos-Amarelos Distróficos, Neossolos Flúvicos Tb Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Nitossolos Vermelhos Distróficos, Nitossolos Vermelhos Eutróficos, Plintossolos Háplicos Distróficos, Plintossolos Pétricos Concrecionários.

3.2 Sistemas computacionais utilizados na pesquisa

Utilizaram-se sistemas computacionais capazes de atender os objetivos propostos nessa pesquisa, tais como:

- **ARCGIS 9.3:** Sistema de Informação Geográfica (SIG), desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), obtido através de licença fornecida em parceria com o Laboratório de Cartografia, Geoprocessamento e Monitoramento por Satélite da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

- **ENVI 4.5:** Processador de imagens comumente utilizado no sensoriamento remoto, desenvolvido pela *Exelis Visual Information Solutions*, obtido através da licença fornecida em parceria com o Laboratório de Cartografia, Geoprocessamento e Monitoramento por Satélite da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA;
- **R:** Linguagem de programação que permite a manipulação, avaliação e interpretação de procedimentos estatísticos aplicados a dados. Gratuito, desenvolvido por Robert Gentleman e Ross Ihaka do Departamento de Estatística da Universidade de Auckland em Nova Zelândia, mais conhecidos por “R e R”, do qual originou-se o nome R do programa.
- **SAS:** *Statistical Analysis System 9.3* - Programa estatístico mais utilizado no mundo, desenvolvido pela *North Carolina State University- EUA*, obtido através de licença para alunos USP.

3.3 Avaliações topoclimáticas para subsidiar zoneamento do paricá

Partindo do princípio que o paricá ocorre no Estado do Pará e que existem interesses do governo do estado e iniciativa privada para o uso dessa espécie, em plantios homogêneos, mix florestais e/ou agroflorestais, buscou-se identificar áreas preferenciais a partir de critérios evidenciados pelas condições de ocorrência natural, com o objetivo de avaliar zonas de potencialidades climáticas, seguindo pressupostos metodológicos utilizados em Brienza Junior. et al. (2009), Martorano et al. (2010), Monteiro et al. (2010) e Martorano et al. (2011).

Assim, investigou-se a existência de dados abióticos e bióticos necessários para a pesquisa e organizou-se a base de dados, fase importante da modelagem ambiental, pois permite compreensão dos dados disponíveis e dados que se precisam obter sobre a área de estudo, possibilitando a padronização do sistema de coordenadas, datum e escalas em ambiente de sistema de informações geográficas.

3.3.1 Organização dos planos de informação abióticos

Utilizou-se a base de dados de relevo e clima do Estado do Pará, que compõe o SIGClima da Embrapa Amazônia Oriental. Segundo Martorano et al. (2011) os planos de informação (PI) foram elaborados utilizando-se técnicas de geoprocessamento, considerando-se uma resolução espacial de 3 km x 3 km, totalizando 3.996 pontos, em grade regular, necessários para cobrir 1.247.690 km² do Estado do Pará, utilizaram-se o ArcGis 9.3 e

exportados para o TerraView 3.2, criando-se o espaço celular para integração de variáveis (Lisboa, 2008).

Os dados climáticos que permitiram a geração das bases foram oriundos de séries históricas (1961 a 1990) das normais climatológicas (INMET, 2009); de bases de dados climáticos mundiais modelados pelo Instituto Internacional de Manejo da Água (IWMI), com contribuição de dados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e Centro Internacional da Agricultura Tropical (CIAT), responsável pela coleta de milhares de médias climatológicas nas Américas do Sul e Central. Esses dados foram criteriosamente ajustados para cada região com intervalo de confiança de 95% e erro padrão de 1,96, disponibilizados através do Instituto Internacional de Gestão da Água Mundial e Clima Atlas (<http://www.iwmi.org>) e da Unidade de Pesquisa Climática (<http://www.cru.uea.ac.uk>), cuja metodologia é descrita por New et al. (2002). Também foram utilizados dados de estações pluviais da Agência Nacional das Águas (ANA), em diferentes séries históricas de acordo com cada localidade, superiores a 10 anos.

Os planos de informação disponibilizados e utilizados nesse trabalho foram:

- Mapa de tipologia climática do bioma Amazônia: Utilizando bases da classificação de Köppen, Martorano et al. (1993) fez uma adaptação para a região Amazônica, que resultou em 10 divisões climáticas, distribuídas em Af (Af1, Af2, Af3), Am (Am1, Am2, Am3, Am4) e Aw (Aw3, Aw4 e Aw5), cada qual com suas especificidades quanto aos níveis de precipitação e estações secas (Tabela 1).

Tabela 1 - Tipologia climática baseada na classificação de Köppen adaptado por Martorano *et al.* (1993)

Tipologia climática	Subtipos	Precipitação pluvial anual	Descrição
Af	Af1	>3000	Não apresenta estação seca e a precipitação do mês menos chuvoso é igual ou superior a 60 mm.
	Af2	2500-3000	
	Af3	2000-2500	
Am	Am1	>3000	Possui estação seca moderada (3 meses) ocorrendo precipitação mensal inferior a 60 mm. É considerado um clima intermediário entre Af e Aw.
	Am2	2500-3000	
	Am3	2000-2500	
	Am4	1500-2000	
Aw	Aw3	2000-2500	Apresenta inverno seco bem definido (6 meses) e ocorrência de precipitação mensal inferior a 60 mm.
	Aw4	1500-2000	
	Aw4	1000-1500	

Para este plano de informação (Figura 7), utilizaram-se dados médios mensais e anuais de temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial (mm). Os subtipos f, m e w seguem as restrições quanto à oferta pluvial mensal, ou seja, em f estão às tipologias com precipitação pluvial média superior a 60 mm, e nos subtipos m e w existem meses em que as chuvas ficam abaixo dos 60 mm, prolongando-se de três a seis meses. As subzonas apresentam índices de 1 a 5, correspondentes a faixas de precipitação pluvial anual em intervalos de 500 mm, variando de 1.500 mm a 3.000 mm, de acordo com Martorano et al. (1993).

Figura 7 - Mapa de tipologia climática da Amazônia

Fonte: SIGClima - Embrapa Amazônia Oriental

- Mapa topotérmico do Estado do Pará: Gerado através de análise de regressão linear entre altitude (m) e temperatura do ar (°C), seguindo proposta metodológica adota por Lisboa (2008). Os valores de altitude foram obtidos através de modelo numérico do terreno (SRTM), separando-se em intervalos de 100 metros, visando a avaliar as variações térmicas, corroborando com Ometto (1981) e Martorano (1998) considerando que, à medida que o ar se eleva na atmosfera ocorre um resfriamento médio de 0,6°C a cada 100 metros (Figura 8).

Figura 8 - Mapa topotérmico do Estado do Pará

Fonte: SIGClima - Embrapa Amazônia Oriental

- Mapa de declividade do Estado do Pará: Gerado a partir de cálculos aplicado nas imagens SRTM, utilizando o software Envi 4.5, obtendo valores em graus e posteriormente, convertendo-os em porcentagem, para separação de classes em plano, suave ondulado, moderadamente ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado, por critérios definidos por Ramalho e Beek (1995) para delimitar níveis de suscetibilidade à erosão, sendo um dos métodos mais utilizados em avaliações de aptidão em nível de planejamento (Figura 9).
- Mapa de deficiência hídrica anual e trimestral: Os dados de deficiência hídrica foram calculados através da metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) usando planilhas de Rolim e Sentelhas (1999), visando a estimar os balanços de água no solo com os dados médios mensais de temperatura e precipitação. Adotou-se a capacidade de água disponível no solo (CAD) igual a 300 mm, considerando a tolerância do paricá ao estresse até 3 metros de profundidade, já que as raízes profundas dessa espécie ainda não foram estudadas. Desta forma, obtiveram-se valores de deficiência hídrica anual (Figura 10) e trimestral (Figura 11), buscando aumentar o conhecimento sobre os meses de maior estresse hídrico e vulnerabilidade da planta à escassez de água no solo.

Figura 9 - Mapa de declividade média do Estado do Pará

Fonte: SIGClima - Embrapa Amazônia Oriental

Figura 10 - Mapa de deficiência hídrica trimestral (agosto a outubro) no Estado do Pará

Fonte: SIGClima - Embrapa Amazônia Oriental.

Figura 11 - Mapa de deficiência hídrica anual no Estado do Pará

Fonte: SIGClima - Embrapa Amazônia Oriental.

- Mapa de solos do Estado do Pará: Utilizou-se a base de solos da Embrapa Solos atualizada por Santos et al. (2011), na escala de 1:250.000, classificada até o terceiro nível categórico, disponibilizada em <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>. Ressalta-se que existe grande carência de informações detalhadas dos solos na Amazônia, sobretudo no Pará, portanto, utilizaram-se informações até o terceiro componente apenas para caracterização de algumas áreas (Figura 12).

Figura 12 - Mapa de solos no Estado do Pará

Fonte: Embrapa Solos, 2011.

3.3.2 Organização e coleta de dados bióticos

As informações sobre a ocorrência natural do paricá na Amazônia Legal foram obtidas através de diversas fontes disponíveis na Internet, nos acervos de bibliotecas dos órgãos de pesquisa e universidades no Estado do Pará, e acesso aos herbários considerados referências de plantas catalogadas da Amazônia, como os da Embrapa Amazônia Oriental e do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG).

Também, investigou-se em herbários que disponibilizam suas bases nos âmbitos nacional e internacional, como, o Centro de Referência em Informação Ambiental (CRIA) via *species link*, *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF); *New York Botanical Garden*; herbários da Universidade de Michigan, Universidade da Florida, Universidade da Carolina do Sul, Universidade de Harvard, *Missoure Botanical Garden*, além de literaturas e inventários como as coleções digitais do projeto RADAM Brasil, em 34 volumes e 14 anexos, disponibilizadas pelo IBGE <http://biblioteca.ibge.gov.br>.

No entanto, nessas fontes a maioria das ocorrências não apresentavam coordenadas geográficas, apenas a descrição do local de ocorrência, com poucos indivíduos georreferenciados. Nesses casos, considerou-se sede municipal para apontar a ocorrência naquela região. Por conta disso, intensificaram-se os levantamentos de campo para encontrar o paricá no seu local de origem, georreferenciando-os com o uso do receptor GPS, avaliando também as condições do meio em que a espécie ocorria (Figura 13).

Figura 13 - Investigações de ocorrências naturais

Também foram obtidos dados de ocorrência natural, oriundos do projeto Rede Biomassa e Rede Restaura Ambientes, coordenados no Estado do Pará, pela Embrapa Amazônia Oriental, em parceria com a Embrapa Palmas e Embrapa Florestas, Universidade Federal do Pará (UFPA) e Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), os quais executam atividades de identificação, avaliação e seleção de árvores superiores, para compor o banco de germoplasma de espécies potenciais para plantios florestais, para fins de recuperação de áreas degradadas. Ressalta-se que os levantamentos ainda estão em execução na Amazônia e para o refinamento do estudo, essa base de dados deve ser continuamente ampliada.

As ocorrências foram organizadas em planilhas eletrônicas, assim como as informações relativas a cada indivíduo, visando a obter a ordem de grandeza das variáveis dendrométricas para posterior avaliação de expressões em volume das matrizes em suas áreas de ocorrências. Foram selecionadas aquelas com diâmetro a altura do peito (DAP) acima de 50 cm e altura comercial acima de 15 m, considerando-se as diretrizes do Plano de Manejo Sustentável na Amazônia IN05/2006 para limite mínimo de corte.

Calculou-se o volume de cada indivíduo, considerando o modelo de Schumacher-Hall eq. (1), selecionado por Rolim et al. (2006). Também, para medida de comparação calculou-se o volume geométrico, utilizando o fato de forma 0,7854 recomendado por Heinsdjik e Bastos (1963) para espécies amazônicas eq. (2).

$$V = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * HC^{\beta_2} \quad (1)$$

Em que:

V é o volume comercial em m^3

DAP é o diâmetro a altura do peito em m

Hc é a altura comercial em m

β_0 : 1,3332 β_1 : 2,0836 β_2 : 0,7320

$$V = \pi * \frac{DAP^2}{4} * hc * ff \quad (2)$$

Em que:

V é volume comercial em m³

DAP é o diâmetro a altura do peito em m

Hc é a altura comercial, em metros.

ff: Fator de forma

3.3.3 Definição de critérios topoclimáticos necessários para o zoneamento do paricá

Apesar do paricá ser uma espécie com plantios em expansão, na literatura existe pouca informação sobre as condições ambientais que favorecem ou desfavorecem essa espécie. Buscou-se selecionar as variáveis explicativas e definir critérios que influenciam no desenvolvimento do paricá para estabelecimento das zonas de potencialidade aos plantios.

Utilizaram-se técnicas de Análise dos Componentes Principais (ACP) para avaliar o comportamento dos dados topoclimáticos e topobioclimáticos, grau de correlação entre as variáveis e identificar variáveis explicativas, representativas em termos percentuais da variância dos dados, para posterior integração em ambiente SIG, baseadas em conceitos matemáticos, estatísticos e agrometeorológicos.

A Análise de Componentes Principais (ACP), que é uma das técnicas multivariadas exploratórias mais simples, criada por Pearson (1901) e consolidada por Hotelling (1933), proposta para realizar a simplificação de dados, desde que estes sejam métricos, exatos e com elevado grau de correlação (JOLLIFFE, 1972), foi realizada no pacote estatístico R.

Para avaliar a importância de cada variável topoclimática sobre a variação total dos dados, possibilitando o não uso de variáveis redundantes no processo de álgebra de mapas com um mínimo de perda de informação, inicialmente foram consideradas sete variáveis: Y1: Altitude(m), Y2: declividade (°), Y3: temperatura média do ar (°C), Y4: precipitação pluvial anual (mm), Y5: umidade relativa do ar (%), Y6: deficiência hídrica trimestral (mm), Y7: déficit de pressão de vapor (%), organizados em forma de matriz (Tabela 2).

Tabela 2 - Organização da matriz original de dados topoclimáticos

Id	Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (m)	Dec. (°)	Temp. (°C)	PRP (mm)	Tip. Climática	UR (%)	DEFtrim CAD 300 mm	DPV (%)
1	-9,75	-51,58	353	20,06	25,4	1963,2	Aw4	81,8	99,1	0,59
2	-9,75	-51,42	344	5,10	25,1	1947,6	Aw4	81,6	93,6	0,59
3	-9,75	-51,25	269	20,40	25,0	1930,9	Aw4	81,5	92,6	0,59
4	-9,75	-51,08	373	86,69	25,6	1911,5	Aw4	81,4	112,5	0,61
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3640	2,42	-54,92	390	47,60	25,3	2330,6	AM3	70,9	25,3	0,95

Com os dados foram padronizados (valor observado menos a média/desvio padrão), para evitar problemas das diferentes unidades de medida nos cálculos e gerou-se a matriz de similaridade para analisar simultaneamente a associação linear entre variáveis quantificada através do coeficiente linear de Pearson (r), onde a variável estatística bidimensional é representada por (X,Y) eq. (3):

$$r = \frac{Cor(X,Y)}{S_{X,Y}}, \quad r \in [-1,1] \quad (3)$$

Em que:

Cor (X,Y) - covariância ou variância conjunta das variáveis X e Y

S_X - desvio padrão da variável x

S_Y - desvio padrão da variável y

-1 e +1 são os limites

Assim, diagramas de dispersão das variáveis, duas a duas, foram analisados para averiguar a existência de tendência linear ou não das variáveis respostas. Verificou-se a ocorrência em que $0 < r_{xy} < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r_{xy} < 0,6$ (correlação moderada); $r_{xy} \geq 0,6$ (correlação forte), conforme intervalos descritos por CALLEGARI-JACQUES (2003). Ao todo, foram analisados 28 pares de variáveis, cuja significância de r foi verificada por meio do teste t de Student, em nível de significância de 5 %.

Por combinações lineares das variáveis originais correlacionadas, a partir da matriz de correlação, um novo grupo de variáveis ortogonais foi obtido $C1, C2, ..., Cp$, chamadas de Componentes Principais, arranjados em ordem decrescente de variância (REGAZZI, 2002 e

STEARNS *et al.*, 2005). Os autovalores e os correspondentes autovetores foram obtidos e analisados de forma numérica e gráfica para identificar o percentual de contribuição de cada componente principal na variância dos dados com objetivo de reduzir o número de variáveis.

Após os resultados da ACP foi discutida a importância de cada variável e definiram-se os planos de informações que seriam utilizados na análise espacial integrada. Posteriormente fez-se a organização das ocorrências naturais georreferenciadas, em distribuição de frequência, identificando as amplitudes preferenciais da espécie para cada plano de informação analisado.

Dessa forma, a classe ou conjuntos de classe que apresentaram percentagens maiores que 20 % foram classificadas como preferenciais ou de alto potencial. Já aquelas que estavam entre 10% e 20 % como de médio potencial e aquelas menores que 10% como de baixo potencial. Os gráficos foram analisados, buscando-se compreender os fatores que poderiam favorecer ou limitar o sucesso de plantios do paricá. Também, consultaram-se informações disponíveis na literatura e especialistas em agrometeorologia para melhor compreensão e definição dos critérios, uma vez que estes devem ser entendidos como norteadores de processos, capazes de representar padrões e ser constantemente revisados com o propósito de ampliar as avaliações.

Assim, para verificar importância das variáveis selecionadas na expressão dendrométrica do paricá, organizaram-se em forma de matriz, as informações topoclimáticas associadas aos valores dendrométricos, altura comercial (m), DAP (m) e volume (m³), das ocorrências naturais no Estado do Pará, submetendo-os à análise estatística multivariada (Tabela 3).

Tabela 3 - Organização da matriz original de dados topobioclimáticos

Numero	Latitude	Longitude	Altitude(m)	TmpMediaAn(°C)	Def300Trim(mm)	TipoClimatica	DAP(cm)	H(m)	Volume/ind.(m3)
1	-9,75	-51,58	353	25,4	99,1	AW4	30,2	22	1,24
2	-9,75	-51,42	344	25,1	93,6	AW4	57,0	32	6,41
3	-9,75	-51,25	269	25,0	92,6	AW4	58,3	25	5,24
4	-9,75	-51,08	373	25,6	112,5	AW4	57,3	35	7,09
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
34	-9,42	-55,75	275	25,6	74,4	AW3	68,4	26	7,51

Para os dados topobioclimáticos verificou-se a também, a ocorrência de correlação franca ($0 < r_{xy} < 0,3$); moderada ($0,3 \leq r_{xy} < 0,6$); e forte ($r_{xy} \geq 0,6$) de acordo com CALLEGARI-JACQUES (2003). Ao todo, foram analisados 21 pares de variáveis, cuja significância de r foi verificada por meio do *test t de Student* ao nível de significância de 5 %.

3.4 Integração das variáveis (Álgebra de mapas)

Em ambiente SIG, utilizando o ambiente computacional *Arcgis 9.3*, foram organizados os mapas temáticos na forma matricial (*raster*) e de gradiente, para facilitar o geoprocessamento das variáveis, onde em um único pixel, a menor unidade sobre a qual as operações são realizadas, encontra-se o resultado do cruzamento.

A partir dos critérios estabelecidos por parâmetro topoclimático iniciou-se o processo de álgebra de mapas e operações de análise geográfica. Aplicou-se a operação de fatiamento ou reclassificação dos atributos através da ferramenta *Spatial analyst – Reclass*, por classes de potencialidade (Alta, média e baixa), com valores 1, 2 e 3, respectivamente, de forma a facilitar o processamento.

Sequencialmente, fizeram-se os cruzamentos em função binária, relacionando de dois em dois PIs, a fim de facilitar o processamento e compreensão dos resultados. Através da ferramenta *map algebra - raster calculator*, utilizaram-se operadores lógicos e matemáticos, tais como, a lógica de conjunção - operador intimamente relacionado à operação de interseção de conjuntos numéricos, representado pelo símbolo “ $\wedge$ ”, “e” e “mas”. Esse operador permite definir algoritmos na classe das unidades e das dezenas, e possibilitar a intersecção entre conjuntos espaciais.

Assim, para cada par de atributos são geradas seis possibilidades de classificação, predominando a lógica de que “uma ideia tem de ser verdadeira (igual a 1) em ambas as situações (conjuntos) para que o resultado seja verdadeiro. Em outras situações, o resultado será falso (igual a 0)”, ou seja, um pixel em condição de alto potencial (1) ele terá alto potencial, se e somente se, for de alto potencial para todo o conjunto de planos de informações, caso contrário passa para a classe inferior – média (2) e, em seguida, se não atender os critérios da classe média, passa para a classe de baixo potencial (3). O esquema de modelagem cartográfica e o de integração de variáveis são apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Esquema de dados de modelagem cartográfica adaptado de Tomlin (1990) e integração de variável pela lógica de conjunção

3.5 Estudo de caso: Investigação de evidências de desempenho em plantios

Identificada às zonas de aptidão topoclimática objetivou-se apontar evidências de desempenho em plantios instalados em Dom Eliseu, no sudeste do Pará para validar e ampliar a metodologia recomendada por Brienza *et al.* (2009); Martorano *et al.* (2010) e Martorano *et al.* (2011). Através de uma metodologia participativa foram avaliados o uso e a cobertura do solo, a expressão dendrométrica e espectral de plantios, compartilhando conhecimento com silvicultores atuantes na cadeia de produção do paricá. As empresas locais parceiras desta pesquisa foram os grupos Concrem Ltda., Arboris Ltda. e Vale Florestar S.A.

O município foi escolhido, para as avaliações de estudo de caso, porque vem se destacando em reflorestamentos no Estado, como alternativa para abastecimento das indústrias madeireiras na região, investindo em matéria prima renovável, aperfeiçoando o beneficiamento de produtos e tecnologias que permitem maior aproveitamento, além de gerar emprego e renda à população local. No entanto, existe a necessidade de informações capazes de subsidiar as ações de plantios, para evitar perdas de produção, diminuir a vulnerabilidade da planta a pragas e doença, aumentar a precisão silvicultural, conduzindo arranjos sustentáveis.

3.5.1 Caracterização da área de estudo

O município de Dom Eliseu está localizado no Estado do Pará, a 452 km da capital do estado, Belém, entre as latitudes $3^{\circ}46,2'S$ e $4^{\circ}37,11'S$ e longitudes $48^{\circ}23,4'W$ e $47^{\circ}17,4'W$. Possui uma área de 5.268,794 km² sob as sub-bacias hidrográficas Litorâneas Pará/Maranhão e Rio Guamá, cujos principais rios são o rio Gurupi - que faz limite entre Pará e Maranhão, rio Bananal - passa pelo meio do município, rio Concrem e igarapé Água Suja - responsável pelo abastecimento de água da cidade (Figura 15).

Figura 15 - Mapa de localização de Dom Eliseu em bacias hidrográficas

O principal tipo de vegetação é a Floresta Ombrófila Densa Submontana Dossel Emergente, normalmente composta por árvores altas e relacionada a um clima quente e úmido (IBGE, 2012). Apresenta valores de temperaturas médias entre $25,0$ a $25,8^{\circ}C$, altitudes até 400 metros e precipitação média anual de aproximadamente 2.000 mm (MARTORANO et al., 2010).

Na província Parnaíba, o município apresenta duas formações geológicas, coberturas superficiais cenozóicas e a mais antiga, na bacia Marajó-grajá, com formação no cretáceo. São encontrados coberturas superficiais residuais e concrecionárias do tipo aluminosa, bauxítica, caulínica, fosfática, argilosa e ferruginosa, denominadas de Cobertura Laterítica Madura e arenitos arcoseanos estratificados, grossos a conglomeráticos, com níveis pelíticos (VASQUEZ; SOUZA; CARVALHO, 2008).

Formado por coberturas sedimentares, no planalto dissecado do Gurupi-Grajaú, afloram corpos granitóides em janelas erosivas das coberturas fanerozóicas (rochas pré-cambrianas), responsáveis pelos relevos de topos convexos no município. São encontrados vales poucos profundos, apresentando vertentes de declividade mediana e suave, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem, com densidade de drenagem grosseira-fraca (IBGE, 2008).

Os solos variam entre latossolos amarelo, latossolo amarelo distrófico, plintossolo pétrico concrecionário e argissolo vermelho amarelo distrófico, solos intemperizados, com baixo valores de ph, de Ca e Mg, alta concentração de alumínio, especialmente em regiões com elevadas precipitação (SANTOS et al., 2011; CRAVO et al., 2012).

O atual município pertencia ao município de Paragominas, como distrito (lei estadual nº 5087/1409-1983) e desmembrado de Paragominas em 1988 (lei estadual nº 5450/1988). Sua ocupação iniciou por volta de 1960, com a abertura da rodovia BR222. Apresenta densidade demográfica crescente, com 51.319 habitantes registrados, ou seja, existem 9,74 hab. km⁻² (IBGE, 2010), os quais movimentam um Produto Interno Bruto corrente anual acima de 250 milhões de reais, principalmente com serviços e atividades agropecuárias (Figura 16).

O município de Paragominas sofreu ao longo dos anos intensa ocupação e uso da terra, concentrando a maioria das atividades econômicas desenvolvidas na região Amazônica, tais como expansão agrícola, pecuária e madeireira. Em 1990 era o maior pólo de produção de madeira do Estado, onde estavam situadas grandes madeireiras da região. Com a exaustão dos recursos e pressões ambientais, a partir da década de 1990, a agropecuária ganhou destaque (VERISSIMO et al., 1992; IBGE, 2010).

Figura 16 - Número de habitantes em Dom Eliseu e produto interno bruto (PIB corrente anual)

Neste contexto, Dom Eliseu sofreu intenso desflorestamento chegando a aproximadamente 250 km² em 2002, resultando, em 2011, 64,6% de áreas desflorestadas no município (Figura 17).

Figura 17 - Desflorestamento em Dom Eliseu e no Estado do Pará

Fonte: Dados PRODES/INPE, 2012.

Devido à necessidade de matéria-prima para abastecer as indústrias, restrições ambientais e incentivos à liberação de créditos rurais, Dom Eliseu vem mudando formas históricas de uso da terra por adoção de práticas e sistemas sustentáveis. Em 2012, Dom Eliseu e Ulianópolis saíram da lista de desmatamento, por apresentarem desmatamento menor ou igual a 40km² e ter 80% dos imóveis rurais cadastrados (Portaria nº 324-MMA, 2012). Nesse panorama, a silvicultura, principalmente de espécies nativas como o paricá, vem contribuindo para o redesenho de paisagem na região e apresenta-se como alternativa potencial para recuperar áreas alteradas, pois além de reduzir a pressão sobre as florestas naturais, gera renda e emprego ao município.

Em 2006, os plantios de paricá já alcançavam 41 mil hectares, de forma crescente. Em 2011 a espécie foi considerada a nativa mais plantada do Brasil, com mais de 85 mil hectares plantados em escala comercial (ABRAF, 2013), gerando nesse período, somente para o Pará, nove milhões de dólares (MARTORANO et al., 2011).

3.5.2 Visitas técnicas

Buscou-se identificar os principais atores na silvicultura do paricá, no município de Dom Eliseu, e durante toda a realização deste trabalho foram realizadas quatro reuniões

técnicas para compartilhar conhecimentos, explicar a metodologia e apontar a importância das informações topoclimáticas no planejamento de plantios, visto que, em estudos de zoneamentos ambientais é fundamental compreender a cultura e as formas específicas com que as populações manejam seus recursos naturais (SILVA; SANTOS, 2004).

3.5.3 Instalação das unidades de monitoramento e coleta de dados

Foram instaladas três unidades de monitoramento, em sistema de amostragem simples ao acaso, em plantios homogêneos de paricá, disponibilizados para estudo, por empresa de reflorestamento da região, localizadas em condição de alto potencial topoclimático, identificada no zoneamento. Em parcelas quadradas com área útil de 2.500m^2 (50 m x 50 m), avaliou-se o crescimento de indivíduos de paricá nas idades de 27 e 64 meses, em diferentes espaçamentos (4 m x 3,5 m; 4 m x 3 m; 3,5 m x 3 m), com três repetições. As coletas de campo, na unidade de monitoramento, tiveram início em outubro de 2011 e término em outubro de 2012. Os dados foram coletados em períodos de maior e menor oferta pluvial do município, identificados a partir da base de dados SIGCLIMA, já que o clima exerce forte influência sobre o incremento diamétrico do paricá (CORDEIRO et al., 2008).

Em cada parcela mensuraram-se as circunferências a 1,3m de altura do solo - circunferência a altura do peito (CAP), de todas as árvores, com uso de fita centimétrica, e em 20% destas, foram registradas a altura comercial e total, utilizando princípios da aleatoriedade através do sorteio. As alturas foram registradas com o uso do hipsômetro Vertex III - sensor ultrassônico associado a um transponder, capaz de determinar ângulos, distâncias, alturas, inclinação e temperatura, geralmente indicado por utilizar princípios trigonométricos, facilidade, rapidez de mensuração e alta precisão (SILVA et al., 2012).

Concomitantemente, foram registrados dados térmico-hídricos através de sensores *Hobo onset U12 (Datalogger)*, a fim de verificar variações de temperatura e umidade, em plantios de paricá, ao longo de um dia (24 h), nos períodos de alta oferta pluvial e de maior deficiência hídrica. Antes dos sensores serem levados a campo foram construídos mini-abrigos agrometeorológicos para recebê-los (Figura 18), orientados pela equipe do laboratório de análise e desenvolvimento do espaço construído (LADEC/FAU/UFPa), a qual vem utilizando o mini-abrigo e o sensores térmico e hídrico (*Hobo Onset*) em estudos de conforto térmico em ambientes urbanos, apresentando resultados satisfatórios (Informação pessoal).

A construção de mini-abrigos é essencial por permitir ventilação (ARMANI; GALVANI, 2006) e minimizar a influência da radiação de ondas curtas e ondas longas

procedimento recomendado na ISO 7726 (1998) “*Ergonomics of the Thermal Environments – Instruments for Measuring Physical Quantities*”, a qual especifica cuidados na instrumentação e procedimentos para medições de variáveis físicas. Portanto, diversos materiais, de fabricação artesanal ou artificial, vêm sendo testados, buscando associar o menor custo e maior eficiência de medição (ARMANI; GALVANI, 2006; CAMERINI et al., 2011).

Os registradores foram calibrados, testados por 24 horas, visando a identificar problemas previamente, configurados para leituras de cinco em cinco minutos, permanecendo ligados até o monitoramento no campo para proporcionar à sensibilização do sensor as flutuações térmicas e hídricas de ambientes. No campo, os mini-abrigos foram instalados aleatoriamente a 1,50 m do solo, atentando-se em posicionar a face do sensor para o Sul do hemisfério em estudo (WMO, 1983), evitando sombreamento e favorecendo a incidência solar no sentido Leste-Oeste, utilizando-se as árvores como suporte de apoio.

Figura 18 - Construção de mini-abrigo agrometeorológico e calibração do sensor em laboratório

Todas as parcelas foram georreferenciadas, com o uso do receptor GPS - *Global positioning system*, Garmim 60 csx, a fim de ter a representação espacial da distribuição dos indivíduos e posterior identificação dos plantios no mapa de zoneamento. A representação espacial do plantio e a posição de caminhamento para mensuração das variáveis são apresentados na Figura 19 e as etapas de instalação das parcelas e coleta de dados a campo na Figura 20.

Figura 19 - Representação espacial das unidades de monitoramento

Figura 20 - Etapas de monitoramento dendrométrico e térmico-hídrico em plantios de paricá

Além das três parcelas de monitoramento, também foram obtidos dados dendrométricos de paricá disponibilizados pelos silvicultores, em áreas identificadas como de médio potencial topoclimático no município, com idades de 36 e 60 meses, nos espaçamentos de 3m x 3m; 3m x 3,5m; e 3m x 5m.

Ressalta-se que esse estudo visou a apresentar o padrão médio de crescimento do paricá, baseado em dados coletados, dados disponibilizados pelos silvicultores e informações disponíveis na literatura. Não se aprofundou em questões como o tipo de espaçamento adequado e tipos de manejo utilizados, pois são características que envolvem estudos em uma escala maior de detalhe, onde devem ser considerados, por exemplo, tipo de solo, relevo, controle de mato-competição, pragas e doenças, entre outros.

3.5.4 Análise dos dados dendrométricos

As análises estatísticas foram efetuadas utilizando-se o programa estatístico SAS (1996). Fez-se a análise descritiva dos dados por parcela em cada repetição, calculando-se a média, a mediana, os valores mínimos e máximos, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Com base nos dados de DAP e altura iniciou-se a seleção e análises de equações hipsométricas para estimar o crescimento em altura em função do DAP, das árvores não mensuradas (Tabela 4). Este método é comumente utilizado em inventários florestais, pela rapidez, baixo custo e eficiência em função da composição do povoamento e qualidade de sítio (COUTO; BASTOS, 1987; THIERSCH et al., 2013).

Tabela 4 - Modelos hipsométricos

Nº	Modelos
1	$H = \beta_0 + \beta_1 * LnDAP + \varepsilon_i$
2	$H = \beta_0 + \beta_1 * IDAP + \beta_2 * LnDAP + \varepsilon_i$
3	$H = \beta_0 + \beta_1 * DAP^{-1} + \beta_2 * LnDAP + \beta_3 * DAP^2 + \varepsilon_i$
4	$LnH = \beta_0 + \beta_1 * LnDAP + \varepsilon_i$
5	$LnH = \beta_0 + \beta_1 * LnDAP + \beta_2 * DAP^2 + \varepsilon_i$
6	$LnH = \beta_0 + \beta_1 * DAP^{-1} + \varepsilon_i$

Em que: H é a altura total; β_0 ; β_1 ; β_3 são os parâmetros; DAP é o diâmetro a altura do peito; $LnDAP$ é logaritmo neperiano do DAP; DAP^{-1} é o inverso do DAP; e DAP^2 é DAP ao quadrado.

Segundo Couto (1987) as relações hipsométricas são muito sensíveis às variações de sítio, portanto, há a necessidade da geração de parâmetros para as parcelas de amostragem localizadas num determinado sítio. Como critério de seleção adotaram-se medidas de precisão, tais como, significância dos dados, normalidade, análise gráfica dos resíduos (E%) e maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$).

Para estimar a resposta no comportamento da variável volume com casca, investigaram-se na literatura equações ajustadas para o paricá, utilizando como critério de seleção a avaliação das medidas de precisão, proximidades do local de estudo, idade e espaçamento do plantio (Tabela 5).

Tabela 5 - Equações de volume total ajustadas para plantios de paricá em diferentes idades e espaçamento testados no Pará

Equação	Local	Espaç.	Idade (anos)	R ²	Syx	Fonte
$V=D^2(0,000194+0,000027*H)$	Paragominas /Dom Eliseu	4m x 4m	5	0,94	0,02	Hoffman (2009)
$V=0,08339487-0,152233*D+0,005431*D^2+0,003193*DH-0,000121*D^2*H$	Paragominas/ Dom Eliseu	4m x 4m	6	0,94	0,03	Hoffman (2009)
$V=D^2(0,000463+0,00002*H)$	Paragominas/ Dom Eliseu	4m x 4m	7	0,96	0,03	Hoffman (2009)
$\text{Log}V=-3,4274896+2,179019*\text{log}D$	Aurora do Pará	4m x 3m	3,4 e 5	0,90	0,06	Cordeiro (2007)
$V=-0,021325+0,000655*D^2$	Aurora do Pará	4m x 3m	7	0,79	0,02	Silva Junior (2009)
$V=-0,044484+0,000593*D^2$	Aurora do Pará	4m x 3m	10	0,73	0,05	Silva Junior (2009)

Portanto, escolheu-se o modelo indicado por Hoffmam (2009) para estimativa de volume, para idade de cinco anos, eq. (4).

$$V = D^2(0,000194 + 0,000027 * H) \quad (4)$$

Em que:

V é o volume estimado, em metros cúbicos;

D é o diâmetro a altura do peito, em centímetros;

H é altura total em metros.

Esse modelo apresentou coeficiente de determinação de 94,15%, erro padrão residual de 0,0253 e análise dos resíduos não tendenciosa. Ele foi ajustado através da cubagem de 67 árvores de paricá com idades de 5 anos, pelo método de Smalian, descrita por HUSCH et al. (1972) e recomendada por SILVA (1988) para estimativa de volume na Amazônia.

Desta forma, estimou-se a variável volume por hectare usando a equação de Hoffman e relação hipsométrica desenvolvida com os próprios dados, considerando volume com casca até 5 cm de diâmetro, assim como a área basal por hectare, uma variável indicadora do processo de competição das árvores e densidade do povoamento, que auxilia no gerenciamento dos plantios (POKHAREL; DECH, 2012).

Os dados dendrométricos disponibilizados pelos silvicultores, também foram analisados e os incrementos comparados, pois encontravam-se em diferentes zonas de potencialidades.

As árvores dentro de cada parcela monitorada foram agrupadas em classes com intervalo de 2,0 cm de diâmetro, com o objetivo de caracterizar o estoque florestal em desenvolvimento, permitindo assim o conhecimento da estrutura diamétrica do povoamento. Também, visando verificar diferenças na expressão em crescimento do paricá por período de maior e menor oferta pluvial, os diâmetros foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à Análise de Variância e ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$), quando não atendidos todos os pressupostos para a análise de variância, utilizando-se o pacote estatístico SAS.

3.5.5 Análise dos dados climáticos

Para as avaliações climáticas utilizaram-se cinco conjuntos de dados, a saber:

- a) Observações diárias, mensais e anuais de precipitação pluvial do município de Dom Eliseu, correspondentes ao período de 1982 a 2011, disponibilizadas pela Agencia Nacional de Águas (ANA);
- b) Observações mensais e anuais de precipitação pluvial do município de Dom Eliseu, correspondentes ao período de 2007 a 2011, disponibilizadas pela Vale Florestar S.A.;
- c) Dados climáticos do SIGCLIMA espacializados em resolução 3 km x 3 km.
- d) Dados térmico-hídricos coletados através do sensor *Hobo Onset* nas unidades de monitoramento, por 24 horas, no período seco e chuvoso do município;

Para aumentar o gradiente de informação climática do município investigou-se a existência de estações meteorológicas e postos pluviais capazes de fornecer séries históricas de dados para auxiliar na compreensão dos processos de interação planta-atmosfera com respostas diretas na produtividade (Figura 21).

Figura 21 - Georreferenciamento de posto pluvial da Agência Nacional de Águas (ANA) no entorno da área de estudo

Foram obtidos dados diários, mensais e anuais de precipitação pluvial (mm) de série histórica de um período de 29 anos (1982 a 2011) de estação pluviométrica nº 447001, situada nas coordenadas geográfica $4^{\circ}07'10,92''\text{S}$ e $47^{\circ}32'53,88''\text{W}$, em Dom Eliseu, PA, disponibilizada pela Agência Nacional de águas (ANA), através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) no link <http://portalsnirh.ana.gov.br/>. Também, foi possível obter os dados de precipitação mensais e anuais monitorados pela Vale Florestar, no período de 2007 a 2013.

Fez-se a análise exploratória dos dados, calculando medidas de posição, para avaliar o comportamento dos dados; medidas de dispersão, para verificar a variação dos dados em relação à média; e medidas de separatrizes de quartil para melhor compreender as características da precipitação no município, em que os valores superiores a Q3 e inferiores a Q1 apresentam cada 25% da série analisada. Assim foi possível analisar o padrão médio de distribuição da precipitação e presença de anomalias no período de 1982 a 2010.

Com as informações do SIGCLIMA do Estado do Pará e do mapa de solos, fez-se a estratificação em cada plano de informação, obtendo as condições edafoclimática do município. Assim, organizaram-se um banco de dados para melhor compreensão dos padrões topoclimáticos e edáficos, em pequena escala no município (Figura 22).

Figura 22 - Elaboração e estratificação dos planos de informação (PI) do município de Dom Eliseu

Também, fez-se a análise gráfica dos dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) registrado pelo sensor HOBO. Os dados foram extraídos do *datalogger* através do *Hoboware pro* – software, em que o sensor é configurado e são exportados os dados na extensão “*texto separados por tabulações (.txt)*” transferidos para planilhas eletrônicas do Excel para processamento e representação gráfica.

Apesar do curto período de coleta de dados térmico-hídrico, devido à indisponibilidade de sensores para monitoramento em longo prazo, foi possível gerar quatro curvas, de umidade relativa do ar e temperatura do ar em plantios de paricá, por aproximadamente de 24 h. As curvas foram comparadas nos períodos de maior e menor oferta pluvial, sendo avaliadas amplitudes térmicas e hídricas em plantios jovens e adultos, como um dos primeiros registros agrometeorológicos em plantios de paricá na Amazônia, abrindo novos horizontes para a pesquisa florestal.

3.5.6 Mapeamento do uso e cobertura do município

Após a caracterização dos parâmetros topoclimáticos do município realizou-se o mapeamento de uso e cobertura visando a identificar padrões da paisagem, principalmente a expansão dos plantios florestais, através de técnicas classificação digital supervisionada de imagem de satélites de média e alta resolução (LANDSAT e SPOT) e validação de campo,

para auxiliar, posteriormente, na identificação da curva espectro-temporal do paricá no município, utilizando imagens do sensor MODIS.

3.5.6.1 Aquisição de imagens

Para o recobrimento do município de Dom Eliseu foram necessárias duas imagens LANDSAT/TM-5, órbita/ponto 222/063 e 223/063, com passagem em 05 de setembro de 2010, disponibilizadas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 m x 30 m, em sete bandas espectrais. Foram utilizadas as bandas 1 (0,45 - 0,52 μm); 2 (0,50 - 0,60 μm); 3 (0,63 - 0,69 μm); 4 (0,76 - 0,90 μm); 5 (1,55 - 1,75 μm); e 7 (2,08 - 2,35 μm). Não foi possível adquirir imagens mais recentes, devido à forte presença de nuvens nessa região e à indisponibilidade de imagens Landsat-5, que parou de funcionar em novembro de 2011.

Para auxiliar na identificação de feições na imagem e no campo utilizaram-se como apoio imagens SPOT-5 com resolução de 2,5 m x 2,5 m, na composição colorida RGB. Para recobrimento do município foram necessárias nove imagens do ano de 2010, disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-PA).

3.5.6.2 Pré-processamento

Para o georreferenciamento das imagens LANDSAT utilizaram-se como referência duas imagens GEOCOVER (órbita/ponto 222/063 e 223/063) – Imagens ortorretificadas e georreferenciadas, disponibilizadas pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), através do link <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Desta forma, procedeu-se a elaboração de mosaicos através da ferramenta *mosaicking georeferenced* (ENVI) para compor uma única imagem do município, facilitando o processamento.

Também, foram aplicadas técnicas para correção atmosférica, considerando o método de correção pelo pixel escuro proposto por Chavez (1988) ou reflectância zero, conforme Valente e Vetorazzi (2003). Utilizou-se a ferramenta *Dark subtraction parameter* (ENVI), em que primeiramente foram avaliados histogramas de cada cena, identificados valores com refletância zero, ou seja, que não refletiram radiação (ou absorveram totalmente), como sombras e corpo de água limpa, respectivamente, subtraindo-os de toda a cena, desconsiderando influência de topografia e urbanização, visto que Dom Eliseu é um município com ampla área rural.

3.5.6.3 Definição das classes de uso e cobertura

As classes de uso e cobertura do solo foram definidas a partir de conhecimento da área adquirido durante a realização dos trabalhos de campo desta pesquisa, assim como informações fornecidas por silvicultores e técnicos atuantes na região. Também, utilizaram-se informações descritas no Diagnóstico ambiental do município de Dom Eliseu de 2012, disponibilizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA, 2012) e interpretação visual de imagens de alta resolução espacial como *Google Earth* e SPOT. As classes estabelecidas foram:

- Remanescentes florestais: áreas ocupadas por floresta ombrófila densa primária e formações secundárias;
- Pastagens: áreas utilizadas pela pecuária intensiva e extensiva, presença de gramíneas, presença de regenerantes arbustivos e/ou arbóreos isolados;
- Uso agrícola: áreas com presença de determinada cultura agrícola ou condição de solo exposto no momento da passagem do satélite, mas com forma de talhões agrícolas;
- Paricá: áreas ocupadas com plantios de paricá, principalmente plantios para fins comerciais;
- Eucalipto: áreas ocupadas com plantios de eucalipto, principalmente plantios para fins comerciais;
- Núcleo urbano: áreas ocupadas com a sede do município, centro e bairros rurais com áreas de construções.

3.5.6.4 Coleta das amostras de treinamento e aplicação do algoritmo de classificação

Buscando a representatividades nas classes de uso e cobertura foram coletadas amostras de treinamento por meio de digitalização em tela no processador de imagem, por identificação visual das assinaturas considerando a similaridade dos níveis de cinza através da observação do histograma. Para facilitar a seleção das amostras a serem utilizadas na classificação supervisionada, principalmente dos plantios de paricá e eucalipto, usaram-se como referência plantios georreferenciado em mapeamento das propriedades fornecidos pelos silvicultores.

Em seguida, aplicou-se o algoritmo de máxima verossimilhança (MAXLIKEHOOD) que utiliza a média e a covariância das amostras computando a probabilidade de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe. Ele trabalha com distribuições Gaussianas,

ajustadas a partir das estatísticas obtidas da amostra de cada classe (classificador pixel-a-pixel; supervisionado e paramétrico). É um dos métodos mais utilizados em classificação do uso e cobertura do solo por meio de imagens orbitais (COSTA et al., 2005; REESE, 2011) e que apresentou melhor resultado, visto que foram testados diversos algoritmos.

Para a correção de pixel isolados e limites, a imagem classificada foi editada, com uso da ferramenta de pos-classificação *class edit*, manualmente, com base em interpretação visual, utilizando como base a imagem de composição colorida com contraste das bandas multiespectrais, para facilitar a identificação dos alvos, em que foram considerados a forma, textura e comportamento espectral das unidades que compõem a paisagem.

3.5.6.5 Verificação da exatidão da classificação

A exatidão do mapa temático, produto da classificação digital, foi avaliada por meio de amostragem estratificada ao acaso, sugerida por Fitzpatrick-Lins (1981), comumente utilizada em avaliação da exatidão classificação do uso da terra (NOVO, 1992), considerando um intervalo de confiança de 85% e erro permissível de 5% conforme eq. (5), sugerida por (JENSEN, 1996):

$$N = \frac{4(p)(q)}{e^2} \quad (5)$$

Em que:

N é o número de amostras

p é o percentual de exatidão esperado

q é 100 – p

e é o erro permissível

A aplicação da equação resultou em um número mínimo de 204 pontos a serem amostrados, os quais foram redistribuídos no mapa de classificação do município de acordo com a proporção da área de cada classe. A área de remanescentes florestais foi a classe mais expressiva do município, recebendo maior número de pontos, e assim sucessivamente, em ordem decrescente. Como o objetivo do trabalho foi mapear as áreas ocupadas com plantios florestais, principalmente de paricá, aumentou-se o número de pontos a serem verificados, nessas áreas, totalizando 255 pontos. A distribuição dos pontos foi gerada em ambiente SIG, e pode ser observada na Figura 23.

Figura 23 - Distribuição dos pontos para verificar a exatidão da classificação supervisionada, em Dom Eliseu, PA

A verificação dos pontos foi realizada por meio de sobreposição e visualização sobre imagens de alta resolução (SPOT e *Google Earth*) para todos os pontos, fazendo-se a verificação de campo para 70 pontos (30%), priorizando os pontos que apresentaram dúvidas na interpretação e por facilidade de acesso ao longo das Rodovias (BR-010, BR-222, estrada da Marajoara, estrada Itinga/PA, entre outras vicinais) e propriedades particulares.

Em reunião técnica com integrantes de empresas de reflorestamento instaladas no município de Dom Eliseu, fez-se a verificação com base em conhecimento tácito da área de estudo, principalmente sobre a localização, manejo e rendimento de plantios florestais, priorizando as áreas com paricá. Para compartilhar conhecimentos, explicou-se o objetivo da campanha de campo, a metodologia da pesquisa, inclusive sobre o uso de imagens de sensores remotos para consubstanciar os resultados obtidos.

Devido à parceria estabelecida nesse estudo, as empresas disponibilizaram técnicos para acompanhamento da equipe as áreas de plantios e validação dos pontos de difícil acesso. Para facilitar a identificação dos polígonos na reunião e dos pontos no campo foram elaborados mapas de apoio com imagens do satélite SPOT-5. Os valores de presença e ausência foram anotados na planilha de campo.

Além dos pontos validados foram coletadas coordenadas geográficas com uso do receptor GPS de feições que se destacavam na paisagem, observados as geometrias dos usos, sistema de manejo, espaçamento, preferência de uso em determinado ambiente, mudanças de uso do solo 2010-2012, expansão de novas culturas, indivíduos de regeneração natural, capazes de confundir reflectância com outros alvos.

Os dados de presença e ausência foram contabilizados e utilizados como referência na matriz de erros ou matriz de confusão, a partir da qual é possível identificar o erro global da classificação, assim como as confusões em cada categoria. Para JENSEN (1996) a matriz de erro é um método muito efetivo para representar a exatidão, pois ela descreve claramente os erros de inclusão (erros de comissão) e exclusão (erros de omissão).

A partir da matriz de erros foi possível calcular o índice kappa (k), fundamentado em critérios da análise multivariada discreta (COHEN, 1960), que utiliza todos os elementos da matriz de confusão, não apenas os que se situam na diagonal, medindo a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado. De acordo com Cohen (1960) e Congalton (1991) o índice Kappa é calculado por Eq. (6):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (6)$$

Em que:

r é o número de linhas e colunas das matrizes de erros

x_{ii} é o número de classes na linha i e coluna i

x_{i+} é o total marginal da linha i

x_{+i} é o total marginal da coluna i

N é o número total de observações

A interpretação do índice é feita com base na tabela proposta por Landis e Koch (1977), onde foram definidos intervalos de classe de qualidade do índice Kappa. Esses intervalos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação da qualidade do índice Kappa

Kappa	Qualidade
<0,0	Péssima
0,0 - 0,2	Ruim
0,2 - 0,4	Razoável
0,4 - 0,6	Boa
0,6 - 0,8	Muito boa
0,8 - 1,0	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

3.5.7 Respostas espectrais por meio de índice de vegetação

Com o mapa de classificação final, já com os erros de comissão e omissão corrigidos, por meio de interpretação visual de imagens, pode-se compreender o uso e cobertura do município no ano de 2010, bem como, as mudanças ocorridas até 2012. Essas informações são necessárias para auxiliar na identificação do padrão de respostas espectrais das áreas vegetadas no município e efeitos topoclimáticos sobre a vigor dos plantios de paricá, através de imagens de alta resolução temporal do sensor MODIS.

3.5.7.1 Aquisição das imagens e pré-processamento

Localizou-se o quadrante do município, *Tile h13v09*, e foram baixadas 12 imagens MODIS, referentes aos meses de janeiro a dezembro de 2010, entre os produtos de ecossistemas terrestres (MODLAND-MOD13Q1) do sensor MODIS, plataforma TERRA disponibilizados pela NASA gratuitamente, no endereço eletrônico https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/, com projeção sinusoidal (SIN), resolução radiométrica de 16 bits, frequência temporal de 16 dias, resolução espacial de 250m e nível de processamento três (produtos georreferenciados, espacialmente amostrados e temporariamente compostos), realizado pela equipe do centro de pesquisa *Earth Observing System* (EOS/NASA).

Através do aplicativo *Modis Reprojection Tool* (MRT), disponibilizado pela NASA, as imagens foram reprojetaadas de projeção Sinusoidal para o sistema de coordenadas geográficas, Datum World Geodetic System – WGS 1984 e convertidas para formato *GEOTIFF*, de forma a facilitar o processamento dos dados, pois as imagens são disponibilizadas no formato *Hierarchy Data Format* (HDF) e necessitam passar por esse processamento para serem analisadas.

As imagens também sofreram conversão do formato de 16 bits com sinal (-32.768 a +32.768 para oito bits, tendo por base a restauração do valor de reflectância para cada pixel dividindo-os por 10.000 e excluindo os valores de reflectância inválidos, valores negativos gerados por problemas de correção atmosférica. Esse processo não modifica a ordem de grandeza dos resultados, pois a resolução radiométrica das imagens é de 12 bits, sendo convertida para 16 bits apenas para minimizar o espaço ocupado no armazenamento e facilidade de transferências (ARAI; FREITAS, 2007).

Calculou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) MODIS/TERRA, no processador de imagens Envi 4.5, expresso pela razão entre a diferença e a soma das medidas de níveis de cinza (NC) nos canais do

vermelho e infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973), bandas mais significativas para avaliação de respostas da vegetação (JENSEN, 2009), conforme Eq. (7):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (7)$$

Em que:

NIR: Os valores de NC na região do infravermelho próximo do espectro eletromagnético

RED: Os valores de NC na região do vermelho do espectro eletromagnético

Os valores de NDVI gerados foram reclassificados de 0 a 1 em intervalos de 0,2, atentando-se principalmente para valores de 0,6 a 1, faixa de maior resposta da vegetação. Cuja variação pode está em função da arquitetura do dossel, área foliar, fenologia ou fisiologia das folhas. Valores negativos e próximos a zero podem estar associados a ruídos, presença de nuvens, solo exposto, efeitos atmosféricos ocasionados por gases e aerossóis e problemas relacionados ao sensor (FLORES et al., 2006; ALVARES et al., 2013).

3.5.7.2 Identificação e análise do comportamento espectral da vegetação

A análise espectral do paricá por NDVI foi realizada, primeiramente, identificando-se diferentes feições do município, entre elas o paricá, utilizando como base a avaliação de padrões de uso e cobertura do solo, realizados nesta pesquisa. Assim, sobre imagens MODIS foram amostrados aleatoriamente plantios maiores que 6,25 hectares, selecionando, sempre que possível, os valores de NDVI na área central do talhão florestal, para evitar contaminação por pixels vizinhos, já que áreas de plantios florestais no município, geralmente, apresentam formato irregular.

Da mesma forma, coletaram-se amostras em áreas de vegetação densa (remanescentes florestais) e em áreas de plantios de *Eucalyptus spp.* objetivando verificar a hipótese de igualdade entre médias, visto que são tipos de vegetação florestal no município. Também foram coletadas amostras em plantios de paricá com idades de três, quatro e cinco anos, para verificar diferenças entre idades no tempo.

Visando a identificar o perfil espectro-temporal da espécie em diferentes condições hídricas no município, utilizaram-se dados de série histórica de precipitação pluvial de 1983 a 2010, disponibilizados pela ANA - Agência Nacional das Águas, bem como utilizado o mapa deficiência hídrica mensal, em escala de 3 km x 3 km, considerando a capacidade disponível de água no solo de 300 mm (MARTORANO et al., 2011).

Considerando as zonas de potencialidades topoclimáticas para o paricá, apresentadas na Figura 46, coletaram-se amostras de NDVI de plantios localizados nas áreas de alto e médio potencial e compararam-se as médias com o objetivo de identificar diferenças no vigor da vegetação entre zonas no período de maior vulnerabilidade ao efeito do estresse hídrico.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, submetidos à Análise de Variância ANOVA (teste F) e ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (Valor $p < 0,05$), quando não haviam sido atendidos todos os pressupostos para a análise de variância, utilizando-se o pacote estatístico SAS. Na análise de perfil, aplicada para as curvas de NDVI, verificaram-se as hipóteses de paralelismo, coincidência e tendência entre os tipos de vegetação, por meio de técnicas multivariadas.

Também, devido à inexistência de estudos sobre o comportamento espectral de plantios de paricá e questionamentos sobre a eficiência das imagens MODIS no monitoramento dos plantios, compararam-se médias de NDVI amostradas em imagens LANDSAT-5 e MODIS com resolução espacial de 30 m x 30 m e 250 m x 250 m, respectivamente, de setembro de 2010.

Ressalta-se que além de apresentar o comportamento espectral do paricá, objetivou-se avaliar o uso de técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto no monitoramento de plantios, a semelhança de estudos que vêm sendo realizados em nível nacional e internacional para espécies de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* (ALVARES et al., 2013; MAIRE et al., 2011) com excelentes resultados de aplicabilidade na estimativa de biomassa, produtividade, avaliação de danos causados por estresse, proporcionando ao silvicultor mais conhecimento espacial do plantio associado ao conhecimento descritivo oriundo dos inventários.

3.5.8 Elaboração de cenários de plantios de paricá até 2020

Com as informações obtidas durante a realização deste trabalho, buscou-se identificar as principais forças motrizes (*Driving forces*), capazes de influenciar na expansão da cadeia produtiva do paricá. Uma vez que essa é uma das principais etapas na elaboração de cenários (KOK et al., 2011). Segundo Bürgi, Hersperger e Schneeberger (2004) essa abordagem possibilita a compreensão dos causadores de mudanças na paisagem dentro de uma relação expressiva entre o homem e a natureza. Desta forma, os cenários não preveem, eles mostram o que pode acontecer, dada uma determinada condição (VLIET; KOK, 2013).

Identificadas as forças foram organizadas por graus de importância ou impacto em duas esferas denominadas de primária e secundária, ambas interligadas ao sistema produtivo. Dentro de uma perspectiva otimista e pessimista geraram-se cenários de plantios

capazes de mostrar a expansão da área plantada, o retorno econômico e em produção de madeira em tora, em cenários até 2020, para o município de Dom Eliseu, no Pará. Em razão de que, o uso de cenários prospectivos auxiliam na definição de estratégias e para melhor conhecimento do ambiente, frente aos riscos e oportunidades (MARCIAL; COSTA, 2001).

Nas projeções, considerou-se que existe a probabilidade das novas áreas serem plantadas nas zonas de alto e médio potencial topoclimático no município, as quais somam, 96% da área total. Todavia, dentro de uma proposta de recomposição de paisagens alteradas, adotaram-se como disponíveis, as áreas desflorestadas no município, que chegam a 64,6% (PRODES, 2013). Também foi importante considerar que existem outras atividades competitivas, como pastagens, agricultura, plantios de *Eucalyptus spp.*, indústrias e área urbana, portanto, a área disponível diminui. Além disso, outros fatores limitantes como, áreas de baixa aptidão do uso da terra, ou seja, áreas com ausência de práticas mecanizadas e baixo nível tecnológico (RAMALHO-FILHO; BEEK, 1995) e áreas consideradas de preservação permanente (APP), de acordo com o atual código florestal (BRASIL, 2012).

Os cenários foram projetados, partindo da área plantada de 2010, identificada por meio da avaliação de padrões de uso e cobertura do solo por classificação supervisionada, nesta pesquisa, acrescentando um incremento anual nas áreas plantadas de 5%, adotando a mesma taxa de crescimento dos plantios de *Eucalyptus* no Estado do Pará (ABRAF, 2013). Já que não existem estudos que mostrem a evolução espaço-temporal das áreas plantadas com paricá no município. Mas sabe-se que é uma atividade crescente na Amazônia, mas precisamente, nos Estado do Pará, Maranhão e Tocantins, através da avaliação da curva de tendência de crescimento de 2006 a 2012, a partir de dados publicados no anuário estatístico da Associação Brasileira de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013).

Adotaram-se os valores em rendimento máximo e mínimo de madeira em tora dentro de cada zona, obtidos nas unidades de monitoramento, nos inventários disponibilizados pelos silvicultores e informações da literatura. Em cada cenário foram verificadas diferenças de produtividade, adotando-se o valor pago ao metro cúbico de R\$140,00 reais, desconsiderando-se as possíveis flutuações no preço da madeira, com o aumento da oferta, ao longo dos anos, até 2020. Também, pode-se estimar a perda em produção de madeira e em reais, entre os cenários que apontam mesma condição topoclimáticas, mas comportamentos diferentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição geográfica das ocorrências do paricá no bioma Amazônia

Foram encontradas 279 ocorrências naturais do paricá, em sete dos nove estados da Amazônia Legal, e organizadas em três grupos, em função de presença e ausência de coordenadas geográficas. Na Figura 24, observa-se a distribuição geográfica da espécie, onde estão localizados 260 pontos nas respectivas coordenadas geográficas, 19 pontos referenciados nas sedes dos municípios dessas ocorrências e o terceiro grupo representados pela localização de quatro cartas (SA22YD, SA23YD, NA21 e SB21) contidas em 14 volumes do projeto Radam Brasil de 1977 (IBGE, 2012) no Estado do Pará, onde a espécie foi citada na composição florística.

Figura 24 - Ocorrências naturais do paricá na Amazônia brasileira

A presente base de informações pode ser ampliada com levantamentos de ocorrência de paricá por projetos de pesquisa na região. Ao analisar a distribuição da espécie sobre o mapa de tipologia climática adaptado por Martorano et al. (1993) observou-se que o paricá ocorre, predominantemente (95%), entre os tipos Am3 e o Aw4, faixas com menor oferta pluvial quando comparado aos subtipos Af1, Af2, Af3 e Am2 (Figura 25).

Verifica-se que há uma ampla área de distribuição geográfica desta espécie, principalmente próximo a corpos d'água corroborando com Martorano et al. (2011). Os dados obtidos a campo e na literatura indicam que houve ocorrência de indivíduos isolados de paricá em áreas de vegetação densa, bem como registros de forma agrupada, em matas de regeneração natural, em diversas fases de sucessão. Segundo Ohashi (2005), as sementes de paricá necessitam de luz e temperatura para a quebra de dormência, explicando a intensidade dessas ocorrências em reboleiras em áreas mais abertas, com presença de clareiras.

Ocorrência natural do paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) e tipologia climática no bioma Amazônia

Figura 25 - Ocorrências de paricá por tipologia climática da Amazônia brasileira método de Köppen adaptado por Martorano *et al.* (1993)

À semelhança das ocorrências em amplas faixas de tipologia climática, identificaram-se indivíduos em diferentes tipos de vegetação, como em floresta ombrófila densa de terras baixas na Flona Tapajós (IBAMA, 2004), floresta ombrófila aberta aluvial, floresta ombrófila aberta com cipós e palmeiras de babaçu, as quais se estendem do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia até chegar ao estado do Acre (SALOMÃO et al., 2007), em floresta ombrófila aberta submontana com cipós, as margens da BR-163 (EMBRAPA, 2010). Nos inventários florestais na área da ação da Belo Monte, apresentados no Estudo de Impacto Ambiental (FEANSIDE, 2009), destacou-se o paricá entre as espécies emergentes,

com alturas superiores a 35 m, em capoeira antigas, com área basal de $1,62 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, volume de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e biomassa de $18,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Para o conjunto de dados de matrizes analisados neste trabalho, obteve-se diâmetro médio a altura do peito (DAP) de 75 cm, altura comercial de 18,3 cm e altura total de 32,9 m, contabilizando apenas os indivíduos com DAP e altura comercial acima de 50 cm e 15 m, respectivamente. Os volumes calculados variaram entre 2,5 e $9,5 \text{ m}^3$ por indivíduo, quando se utilizou a equação de volume ajustada Eq. (1), e entre 2,9 e $10,9 \text{ m}^3$ por indivíduo para a equação de volume geométrico Eq. (2). A diferença entre os valores das equações eram esperados, pois em cálculos de volume geométrico normalmente há superestimativa (ROLIM et al., 2006).

Vale destacar que o método de estimativa volumétrica é considerado um dos métodos mais precisos para as florestas naturais da Amazônia (SILVA et al., 2011). Entretanto, sabe-se que para evitar erros de estimativas, as equações deveriam ser utilizadas com parâmetros ajustados para cada sítio florestal. Todavia, esses valores calculados servem para identificar a ordem de grandeza dos dados dendrométricos da espécie em condições naturais.

Os registros de ocorrências naturais e a expressão em crescimento apresentam-se como indicativos da existência de áreas preferenciais à espécie, que estão diretamente ligadas às condições favoráveis. Apesar da ampla área de distribuição natural, sabe-se que baixa oferta hídrica causa vulnerabilidade às plantas, influenciando no crescimento e padrões fenológicos da espécie (LOBO et al., 2003; BIRUNARA et al., 2011).

Em toda a Amazônia, as temperaturas médias do ar anuais são elevadas ($>18^\circ\text{C}$), demandando altas taxas evapotranspiratórias pelas plantas, principalmente nos meses de baixa oferta pluvial (MARTORANO et al., 1993), que associados a fenômenos atmosféricos de meso e grande escala, podem causar variabilidade na precipitação e apresentar, entre outros fatores, períodos de deficiência hídrica no solo (FISCH, 1998; MONTEIRO; MOTA, 2010; MARTORANO et al., 2011).

Evidências desses efeitos foram observados sobre a espécie em condições naturais, pois no período de maior deficiência hídrica houve expressão marcante das fases fenológicas de floração e frutificação (Figura 26).

Figura 26 - Interação entre eventos fenológicos e condições hídricas no Estado do Pará

Observa-se que o paricá, normalmente, inicia a floração nos meses de junho e julho (SOUZA; CARVALHO; RAMOS, 2005), quando a oferta pluvial começa a diminuir e, conseqüentemente, os níveis de deficiência hídrica começam a aumentar, atingindo valores máximos nos meses de setembro e outubro, época que inicia a frutificação. Esse comportamento é comum em espécies sempre verdes e pioneiras que dispersam suas sementes na época seca (FIGUEIREDO, 2008).

Tal comportamento é considerado, uma estratégia adaptativa e reprodutiva da planta que gasta matéria e energia para garantir a perpetuação da espécie, liberando suavemente algumas folhas como um mecanismo de economia e eficiência do uso de água em época seca, para manter o equilíbrio entre a disponibilidade hídrica no solo e a demanda evaporativa da atmosfera (LOBO et al., 2003; SILVÉRIO; LENZA, 2010).

Muitos aspectos sobre a ecologia e comportamento em condições naturais desta espécie precisam ser estudados e discutidos com maior intensidade. Para esta pesquisa, a abordagem visa apenas subsidiar a identificação de áreas preferenciais para o plantio no Estado do Pará.

4.2 Variáveis topoclimáticas analisadas

O resultado da análise descritiva para as variáveis topoclimáticas do Estado do Pará, utilizadas na Análise dos Componentes Principais (ACP) é apresentado na Figura 7 e a matriz de correlação na Tabela 8, em que se observam o grau de correlação entre as variáveis, assim como a identificação das variáveis mais significativas.

A correlação entre variáveis e a variabilidade em relação à mediana, também podem ser representadas por meio do gráfico *biplot* ou gráfico de autovetores (Figura 27).

Tabela 7 - Estatística descritiva básica das variáveis topoclimáticas analisadas na ACP

Variável	Alt. (m)	Temp. (°C)	PRP (mm)	Deftrim 300(mm)	UR (%)	Decl. (°)	DPV (%)
Mínima	2,0	24,0	1665	13,2	68,7	0,0	0,36
1ºQuartil	89,0	25,7	2057	56,8	82,8	8,7	0,45
Mediana	187,0	26,3	2157	78,2	85,3	16,7	0,51
Média	188,9	26,2	2178	89,0	83,9	24,6	0,55
Desv.Pad.	123,2	0,7	203,5	44,0	4,2	23,0	0,15
3ºQuartil	267,0	26,7	2292	108,3	86,6	32,3	0,61
Máxima	798	27,5	3080	266,9	88,8	86,7	1,05

Em que: Alt. é altitude; temp. é temperatura; PRP é precipitação pluvial; Deftrim300 é deficiência hídrica trimestral, com capacidade de armazenamento de água no solo de 300 mm; UR é umidade relativa; Decl. é declividade; e DPV é déficit de pressão de vapor.

Tabela 8 - Matriz de correlação das variáveis topoclimáticas no Estado do Pará

Variável	Alt.	Temp.	PRP	Deftrim300	UR	Decl.	DPV
Alt.	1,0						
Temp.	-0,7*	1,0					
PRP	-0,3*	0,3*	1,0				
Deftrim300	-0,4*	0,5*	-0,3*	1,0			
UR	-0,3*	-0,1*	0,2*	0,1*	1,0		
Decl.	0,3*	-0,1*	-0,1*	-0,2*	-0,2*	1,0	
DPV	0,1*	0,3*	-0,2*	-0,02ns	-1,0*	0,1*	1,0

*significativos no nível de 5 % de probabilidade e ns – não significativo. Os resultados representam o coeficiente de correlação de Pearson (r_{xy}), em que $0 < r_{xy} < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r_{xy} < 0,6$ (correlação moderada); $r_{xy} \geq 0,6$ (correlação forte) (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Em que: Alt. é altitude; temp. é temperatura; PRP é precipitação; Deftrim300 é deficiência hídrica trimestral, com capacidade de armazenamento de água no solo de 300 mm; UR é umidade relativa; Decl. é declividade; e DPV é déficit de pressão de vapor.

Figura 27 - Gráfico biplot para a representação dos autovetores das variáveis topoclimáticas

Os dados analisados, explicam 67,7% da variação e mostraram que as variáveis topoclimáticas estão fortemente correlacionadas e bem distribuídas no plano. Observa-se forte correlação negativa entre as variáveis altitude e temperatura (-0,7) (Figura 27 e tabela 8) corroborando com o gradiente térmico mencionado por Martorano et al. (1999) e Fritzsons et al. (2008), os quais apontam que a cada 100 m de altitude a temperatura diminui 0,6°C.

As condições topotérmicas podem apresentar condições limitantes para a vegetação, pois de acordo com a elevação, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida, assim como as taxas fotossintéticas e respiratórias (LARCHER, 2004). Portanto, o uso das mesmas em análise de zoneamento para espécies florestais é fundamental, pois estão associadas também às condições de precipitação pluvial e umidade relativa do ar.

Observou-se também correlação moderada entre temperatura, precipitação e deficiência hídrica, concordando com a lógica do balanço de água disponível no solo para culturas (SENTELHAS; PEREIRA; ANGELOCCI, 1998), com condição de deficiência hídrica diretamente proporcional à temperatura (0,5) e inversamente proporcional à precipitação (-0,3), ou seja, quanto menor for a oferta pluvial, maior é o estresse hídrico, apontando a eficiência do modelo de balanço hídrico para expressar os estoques de água no solo e o atendimento da demanda evapotranspiratória das plantas.

Também, existe forte correlação negativa entre o déficit de pressão de vapor e a umidade (-0,1) e moderada correlação positiva entre déficit de pressão de vapor e a temperatura do ar (0,3), concordando com Costa e Marengo (2007), para os quais baixos

níveis de umidade associados ao aumento de temperatura na folha podem afetar o déficit de saturação de vapor, ao qual o estômato da planta é sensível.

No gráfico *biplot* observam-se também a distribuição por tipo climático associado às variáveis topoclimáticas, verificaram-se que os tipos climáticos predominantemente mais secos (Am4, Aw3 e Aw4) estão no sentido oposto aos outros tipos climáticos, que possuem maior oferta pluvial, ou seja, sofrem mais os efeitos da deficiência hídrica, do déficit de pressão de vapor na superfície foliar, das condições de umidade e temperatura.

Para reduzir a dimensionalidade dos dados, na ACP são avaliados os autovalores mais correlacionados que apresentam menor variância e são passíveis de descartes, segundo critérios estabelecidos por JOLLIFFE (1972). Observa-se que 94% da variabilidade dos dados são expressos pelos quatro primeiros componentes, com autovalores superiores a 0,7 (Tabela 9).

Tabela 9 - Resumo das componentes principais da análise multivariada

Componentes	Autovalor	% da Variância	% acumulada
1	2,357	33,67	33,67
2	2,108	30,12	63,8
3	1,207	17,25	81,0
4	0,870	12,43	93,5
5	0,324	4,64	98,1
6	0,130	1,86	100,0
7	0,001	0,02	-

As variáveis que apresentaram o maior valor nas componentes que menos contribuem para a variância dos dados podem ser retiradas da análise, pois já estão expressas nas outras componentes. Logo, as variáveis candidatas a saírem da análise seriam déficit de pressão de vapor (0,7137); temperatura média do ar (0,7316); e altitude (0,5981).

Ao ponderar a necessidade de uso e descartes das variáveis conforme o resultado da análise de ACP verificou-se que as variáveis candidatas a saírem da análise foram as que estavam mais fortemente correlacionadas ao grupo dos dados e que possivelmente já estariam sendo explicadas ou explicando as outras variáveis.

Como a deficiência hídrica e as condições topotérmicas, ressaltadas por Martorano (1998), são resultados de modelos que integram diferentes variáveis meteorológicas, as análises espaciais contemplaram planos de informação com classes dessas cartas explicativas, mantendo-se a variabilidade dos dados.

Também, a análise descritiva das variáveis selecionadas em função da expressão dendrométrica do paricá em condições naturais é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Estatística descritiva básica das variáveis topobioclimáticas analisadas na ACP

Variável	Alt. (m)	Temp. (°C)	Deftrim 300(mm)	DAP (cm)	Altu. (m)	Vol. (m ³ /ind)
Mínima	172,0	24,6	62,9	30,2	19,0	1,2
1ºQuartil	237,2	25,0	76,5	42,7	23,3	2,5
Median	280,0	25,5	95,6	53,0	26,0	5,1
Média	283,6	25,4	98,7	55,2	27,8	5,9
Desv.Pad.	65,74	0,5	25,2	15,0	5,91	4,3
3ºQuartil	325,5	25,7	68,4	68,4	31,75	7,0
Máxima	389,0	26,4	87,5	87,5	38,8	13,0

Em que: Alt. é altitude; temp. é temperatura; Deftrim300 é deficiência hídrica trimestral, com capacidade de armazenamento de água no solo de 300 mm; DAP é o diâmetro a altura do peito; Altu. é a altura total da árvore; e volum. é o volume em m³/ind.

Os dados analisados topobioclimáticos explicando 83,9 % da variação total dos dados (Figura 28) mostram que as variáveis topobioclimáticas se correlacionam fortemente por estarem bem distribuídas no plano e o tamanho do vetor evidencia a importância da variável para o conjunto de dados.

As variáveis temperatura e altitude novamente confirmaram alta correlação negativa (-0,7), assim como deficiência hídrica e temperatura do ar (0,9) com alta correlação positiva, sendo que altitude é inversamente proporcional à deficiência hídrica trimestral (-0,7) e à temperatura (-0,7).

Entre as variáveis dendrométricas, a variável DAP e altura indicaram alta correlação com o volume, 0,9 e 0,8, respectivamente. Esses dados confirmam que o DAP apresenta maior importância que a altura para explicar o volume do paricá, concordando com estudos de Pamplona, Cárdenas e Montoya (2011) para outras espécies da Amazônia.

Nota-se a condição de correlação negativa entre o primeiro, segundo e quarto quadrantes, reforçando que as variáveis dendrométricas são influenciadas pela deficiência hídrica no solo, temperatura e altitude, ou seja, os locais com maior expressão em crescimento da espécie são aqueles que apresentam baixa deficiência hídrica do solo, temperaturas e altitudes pouco elevadas, evidenciado pelo tipo climático Aw3, que concentram as ocorrências nessas condições próximas à mediana, diferente das ocorrências do tipo climático Aw4, que toleram ambientes mais secos e com maior deficiência hídrica. Maiores

interpretações seriam possíveis se houvesse um número maior de informações dendrométricas das ocorrências naturais.

Figura 28 - Gráfico biplot para a representação dos autovetores das variáveis topobioclimáticas

Definidas e analisadas as variáveis explicativas, espacializaram-se as ocorrências sobre o plano de informação topotérmico (Figura 29). Observa-se que, predominantemente, o paricá ocorre em áreas quentes com temperaturas médias na faixa de 25,3 a 26,4 °C (96%) (Figura 30). Destaca-se que nas áreas com temperaturas superiores a 27,1 °C e inferiores a 24,6 °C não foram observados indivíduos, que podem ser indicativos de limitações à expressão do potencial genético dessa essência florestal.

Figura 29 - Ocorrência natural de paricá e condições topotérmicas no Estado do Pará

Figura 30 - Percentuais de ocorrência natural do paricá por classes de temperatura média do ar anual no Estado do Pará

Quanto à altitude observa-se que 88% das ocorrências do paricá encontram-se em condições altimétricas menores que 200 m e 12% foram encontrados em altitudes de até 400 m, evidenciando que condições de altitude superiores a esta, podem limitar a expressão em crescimento da espécie (Figura 31).

Figura 31 - Percentuais de ocorrência natural do paricá por classes de altitude no Estado do Pará

Na Figura 32 observa-se a distribuição das ocorrências naturais no plano de deficiência hídrica trimestral, e na Figura 33 os percentuais por classes de potencialidade.

Figura 32 - Ocorrência natural do paricá por faixas de deficiência hídrica trimestral

Verificou-se que o paricá ocorre predominantemente (83%) em ambientes com deficiência hídrica trimestral até 180 mm, corroborando com Martorano et al. (2011), suportando nos meses de agosto a outubro estresse hídrico até 270 mm. No entanto, essas condições podem limitar a expressão em crescimento das espécies apresentando baixo potencial para plantios.

Figura 33 - Percentuais de ocorrência natural do paricá em condições de déficit hídrico trimestral no Pará

Baseados em critérios matemáticos, estatísticos e agrometeorológicos obteve-se a tabela resumo de critérios ou classes de potencialidades adotadas para o zoneamento do paricá no Estado do Pará (Tabela 11).

Tabela 11 - Classes de potencialidades do paricá no Estado do Pará

Condições topoclimáticas	Alto	Médio		Baixo	
Tipologia climática	Aw3	Am3 e Aw4		Af1, Af2, Af3, Am1, Am2, Am4 e Aw5	
Altitude (m)	≤ 200	200 - 400		>400	
Temperatura média anual (°C)	25,3 – 26,4	26,5-27,0	24,7-25,2	≥ 27,1	≤24,6
Deficiência hídrica trimestral (mm)	< 180	-		≥ 180	

4.3 Zonas de potencialidades topoclimáticas do paricá no Estado do Pará

O mapa de zoneamento gerado após o cruzamento dos Planos de Informação (Figura 34) possibilitou a identificação de três zonas topobioclimáticas classificadas em alto, médio e baixo potencial para o plantio do paricá em reflorestamentos no Estado do Pará.

O zoneamento mostrou que 18.998.278,0 hectares, isto é, 15% da área total do Estado do Pará estão dentro das zonas topoclimáticas com alto potencial para o reflorestamento com o paricá, enquanto que 99.990.305,0 hectares, correspondentes a 80% do estado, representam áreas de médio potencial, e 5.870.417,0 hectares, correspondentes a 5% do estado, com áreas com baixo potencial para o cultivo.

Nota-se que, predominantemente, as zonas com médio potencial, limitadas por questões de altitude, temperatura, precipitação pluvial e deficiência hídrica, estão nas áreas protegidas por lei (áreas de conservação e terras indígenas), cujo manejo, corte e transporte do paricá passam por exigências legais específicas (BRASIL, 2000; PARÁ, 2011). Entretanto, fora das áreas protegidas recomenda-se especial atenção por parte dos silvicultores, pois existem épocas do ano com baixa oferta pluvial e alta evapotranspiração associadas a altas temperaturas, que podem causar vulnerabilidade à planta, resultando em expectativas de produção pouco satisfatórias. A semelhança dos plantios de *Eucalyptus spp.* cuja eficiência no aproveitamento dos recursos, através da adubação, é limitada em função disponibilidade de água (FERRAZ; LIMA, RODRIGUES, 2013). Nessas áreas aponta-se o manejo ou o plantio

com outras espécies florestais como atenuador do processo, na busca por alternativas que diminuam os efeitos topoclimáticos sobre o paricá.

Todavia, observa-se que as áreas com alto potencial topoclimático, a leste do estado, são compostas por municípios intensamente antropizados, por históricas formas de uso e cobertura do solo, com intensos conflitos de terras, alto índice de desflorestamento e grandes áreas em via de degradação. Segundo o zoneamento, são áreas potenciais topoclimaticamente e prioritárias para o redesenho de paisagem através de sistemas de produção sustentáveis, fatores importantes a serem considerados no planejamento estratégico de programa de prevenção, controle do desmatamento e desenvolvimento do Estado do Pará.

Nas áreas de baixo potencial, localizadas próximas às margens do rio Tocantins com aproximadamente 80 km a partir da margem do rio, o principal fator limitante ao paricá é a deficiência hídrica, que no trimestre mais seco alcança valores próximos a 270 mm, ou seja, 90 mm por mês. Segundo a classificação climática de Köppen, adaptada por Martorano et al. (1993), são encontrados períodos com precipitação pluvial mensal inferior a 60 mm, portanto, são áreas onde o paricá pode apresentar deficiência de expressão do seu potencial produtivo.

Estudos apontam que nas plantas em condições de estresse (hídrico e/ou nutricional) há maior partição relativa do carbono para as raízes, alterando a arquitetura do sistema radicular em busca de água (GATTO et al., 2010). Pois a planta gasta mais energia com estruturas necessárias para absorção e transporte de água (raízes e xilema), do que com produção de massa lenhosa, resultando em queda de produção (CARVALHO et al., 2012), além de tornar as plantas mais vulneráveis a problemas fitossanitários.

Também foi possível identificar áreas com baixo potencial topoclimático em regiões com altitudes acima de 400 m no sul do Pará, onde encontraram-se as menores temperaturas médias anuais do estado, variando entre 23 °C a 24 °C, o que demonstra a favorabilidade da espécie a ambiente quentes e úmidos, como da Amazônia, ao contrário da *Hevea brasiliensis*, espécie nativa da Amazônia que apresenta altas produtividades em altitudes até 900 m e suportar temperaturas mínimas acima de 18°C (CAMARGO; MARIN; CAMARGO, 2003).

Por outro lado, na região próxima à calha norte, a oeste do Pará foram encontrados áreas com baixo potencial devido ao fator temperaturas elevadas, com médias mensais superiores a 27,5°C, fator significativo, pois a temperatura da folha afeta diretamente a economia d'água da planta.

É importante salientar que no planejamento de empreendimentos florestais devem ser considerados outros fatores como solos, declividade, manejo, qualidade da semente e mudas.

Autores apontam que características de solos associadas às variáveis climáticas desempenham um papel fundamental na produtividade de povoamentos florestais (BOOTH; JONES, 1998; HIGA; WREGE, 2010), bem como de declividade, que condicionam o manejo, limitando a aptidão de uso da terra (RAMALHO-FILHO; BEEK, 1995). Destaca-se que em todas as zonas mapeadas devem ser consideradas as normas técnicas do atual Código Florestal, delimitando-se as áreas de preservação permanente descritas no artigo 4, capítulo II, da Lei nº12.651/2012.

Figura 34 - Zoneamento topoclimático para o paricá e áreas protegidas no Estado do Pará

4.4 Evidências de desempenho: Estudo de caso Dom Eliseu, PA

4.4.1 Condições topoclimáticas do município de Dom Eliseu

Dom Eliseu apresenta clima equatorial amazônico, quente e úmido. Segundo a classificação de Köppen adaptada por Martorano et al.(1993) são identificados no município quatro subtipos climáticos Am3, Am4, Aw3 e Aw4 (Figura 35).

Figura 35 - Tipologia climática do município de Dom Eliseu, PA

Nos subtipos climáticos Am3, Am4, Aw3 e Aw4 a precipitação pluvial anual varia de 1.500 mm a 2.500 mm. No entanto, o período de estação seca moderada varia de três meses para o tipo Am, predominante no município, a seis meses para o Aw, sendo este mais seco, pois no mês menos chuvoso a precipitação é inferior a 60 mm, localizado mais a sudeste do município, próximo ao limite com o Estado do Maranhão.

Com dados da série histórica de 1982 a 2011 do posto pluvial da ANA (COD 447001), juntamente com dados pluviais coletados pelo grupo Vale Florestar, de 2007 a 2013, verificou-se que precipitação pluvial anual média é 1.749 mm, com precipitações superiores a 1.700 mm, em 17 dos 28 anos analisados, já que o município não possui estação meteorológica (Figura 36).

Figura 36 - Precipitação pluviométrica total anual no município de Dom Eliseu, PA

O ano de 1989 destacou-se como o mais chuvoso, com um total anual de 2.979 mm e o ano de 1997, com o menor total anual, 1.057 mm, relacionados aos fenômenos La Niña e El Niño, respectivamente (CPTEC, 2013). Esses são fenômenos de meso escala que influenciam diretamente no clima e na vegetação, associados aos padrões oceano-atmosfera de grande escala, provocando mudanças na circulação atmosférica em escala regional e global, gerando anomalias climáticas, com precipitações pluviométricas acima (La Niña) e abaixo (El Niño) do normal na Amazônia (SODRÉ; VITORINO, 2013).

Ao analisar o gráfico de anomalias (Figura 37), observa-se que a precipitação anual mostrou tendência média crescente no período de 1984 a 1996, com desvio normalizados positivos acima de 1,0 em relação aos desvios normais, mesmo havendo uma indicação de El Niño em 1987, 1990, 1993, 1994 e 1995.

Figura 37 - Anomalias de precipitação pluviométrica total anual no período de 1982 a 2010 em Dom Eliseu, PA

No período de 1997 a 2010, os totais pluviais anuais sofreram influências pelo El Niño de 1997-1998 (forte), 2002-2003 (moderado), 2004-2005 (fraco), 2006-2007 (fraco), 2009-2010 (fraco) (CPTEC, 2013), com desvios normalizados negativos menores que -1,5. Nesses anos houve redução das chuvas no município com predominância de anomalias negativas, informação importante para um município que possui base agropecuária e florestal, atividades dependentes da variabilidade pluvial, que correspondem a 21% do PIB do município (IBGE, 2010).

A análise de quartis revela maior variabilidade no período mais chuvoso, com maiores frequências no primeiro quartil (0,25), com a mediana em torno de 360 mm no mês de março, o que difere do período menos chuvoso, onde no terceiro quartil (0,75), a precipitação não ultrapassa 60 mm, de julho a setembro (Figura 38).

Figura 38 - Distribuição da precipitação em quartis para o município de Dom Eliseu, PA

No período de janeiro a abril ocorre a maior oferta pluvial, concentrando 71% do total médio anual de precipitação do município. O trimestre de julho a setembro é o menos chuvoso, participando com 3% da precipitação anual. Os 26% dos eventos pluviais ocorrem parte entre maio e junho e parte de outubro a dezembro. MARTORANO et al. (2010) destacaram que no período de junho a dezembro ocorrem déficits hídricos no solo, que variam de 150,2 mm a 266,8 mm, associados as altas temperaturas, com média de 26,6 °C .

Ao comparar as séries históricas disponibilizadas pela ANA e VALE, verifica-se um padrão de comportamento semelhante (Figura 39). Porém, os registros pela VALE são inferiores aos dados da ANA em todos os meses, com um desvio padrão médio de 15,3. Essa variação pode estar relacionada a distâncias entre os postos de monitoramento, ao baixo número de anos monitorados ou algum fator externo. Assim, para verificar as variações

espaciais e temporais dos dados climáticos no município é necessário o aumento da rede de estações meteorológicas para dar suporte à decisão aos produtores.

Figura 39 - Variação mensal de precipitação pluvial e temperatura do ar no município de Dom Eliseu, PA

Os dados de precipitação pluvial da ANA quando comparados aos dados da base SIGCLIMA apresentaram coeficiente de correlação (R^2) de 0,98 (Figura 40), evidenciando a eficiência de bases de dados interpolados através de técnicas de Geomática, na identificação das condições meteorológicas para áreas com inexistência de monitoramento de dados.

Figura 40 - Correlação linear positiva entre os dados de precipitação pluvial da ANA e SIGCLIMA

Tomando-se em conta a base de dados do SIGCLIMA foi gerada a tabela-resumo com as principais condições topoclimática existentes no município de Dom Eliseu (Tabela 12).

Tabela 12 - Condições topoclimáticas para o município de Dom Eliseu, PA

Variáveis	Condições topoclimáticas
Tipologia Climática	Am3, Am4, Aw3 e Aw4
Altitude	86 m a 400 m
Declividade	0° a $\geq 45^\circ$
Temperatura média anual	26,2 °C a 27,1 °C
Precipitação pluvial anual	1.755,1 a 2.160,0 mm
Trimestre de maior def. hídrica (agosto a outubro)	150,2 mm a 266,8 mm
Trimestre de maior oferta pluvial (fevereiro a março)	750,1 mm a 1.200 mm
Trimestre de menor oferta pluvial (julho a setembro)	63,7 mm a 200 mm
Trimestre de maior umidade relativa (fevereiro a abril)	84,9% a 89,6%
Trimestre de menor umidade relativa (agosto a outubro)	72,3% a 80,2%
Déficit de pressão de vapor	0,6 kpa a 0,7 kpa

4.4.2 Zoneamento de potencialidades topoclimáticas do paricá em Dom Eliseu, PA

De acordo com o mapa topobioclimático (Figura 41), observa-se que o município de Dom Eliseu apresenta potencial para o plantio do paricá, pois 75% do município, equivalente a 395.064 hectares, encontram-se em área preferencial, ou seja, com alto potencial para a espécie. Entretanto, existem 21% alocados na zona de médio potencial (110.618 ha) e 4% sob condições de baixo potencial (21.070 ha), decorrentes principalmente, de altitude e períodos com deficiência hídrica prolongados, ou seja, superiores a 340 m e 200 mm, respectivamente, fatores que apresentaram alta influência em expressão dendrométrica, identificados nas análises de componentes principais.

Vale ressaltar que os valores percentuais correspondem às áreas potenciais topoclimaticamente para plantio de paricá e não às áreas disponíveis ao plantio e/ou restritas por lei. Assim sendo, considerando-se remanescentes florestais, malha hidrográfica, malha rodoviária, declividade e áreas de preservação permanente, as áreas disponíveis para plantio tendem a diminuir consideravelmente.

Ao comparar com as informações edáficas georreferenciadas de acordo com o novo sistema de classificação de solos do Brasil (EMBRAPA, 2011), identificou-se que as áreas com alto potencial topoclimático ocorrem predominantemente em Latossolo Amarelo distrófico (Plintossolos pétricos concrecionários e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico). Esses tipos de solos São solos altamente intemperizados, profundos, com baixa atividade de argila e troca de cátions ($< 13 \text{ cmolc/kg}$), de coloração relativamente homogênea com matizes avermelhadas e/ou amareladas, com grau de flocculação igual ou próximo de 100% (BEINROTH et al., 1996).

Esses resultados corroboram com estudos de Ribeiro (2011), que apontam os Argissolos como os que melhor atendem as necessidades de desenvolvimento do paricá. Porém, as propriedades químicas, físicas e biológicas podem ser alteradas em função do uso e manejo. Porém, mais estudos envolvendo as condições edafoclimáticas devem ser realizados para esta espécie em nível de propriedade, uma vez que o mapa de solos disponível, utilizado nas avaliações, apresenta escala de 1:250.000, limitando uma análise mais detalhada.

As áreas de médio potencial apresentam características intermediárias em termos topotérmicos, com temperaturas médias anuais que variam entre 24,7°C a 25,2° C (baixa temperatura) e 26,5°C a 27,0 (temperaturas elevadas), e altitudes que variam de 200 m a 400m. Sabe-se que, associados a condições de altitude e temperatura, existem outros fatores que podem afetar o desenvolvimento de uma cultura florestal, como vento, incidência de radiação e umidade relativa do ar. Segundo Martorano *et al.* (2010) a umidade relativa anual no município varia de 77% a 83%, sendo os menores valores observados no mês de outubro, entre 74% a 78%. Já no mês mais úmido, predominantemente, a umidade fica entre 88% e 90%, o que pode ser uma condição facilitadora para a reprodução das cigarras (*Cicadas spp.*), pois a emergência do adulto é influenciada pela precipitação (MARTINELLE, 1985).

Observa-se que as áreas mais vulneráveis para o plantio de paricá encontram-se próximas à divisa com o estado do Maranhão e apresentam deficiência hídrica de agosto a outubro superior a 180 mm. Nessas condições, a espécie pode desenvolver-se razoavelmente, porém ela pode não expressar seu potencial produtivo por necessidade hídrica. Em função disso, estratégias podem ser tomadas para manter a umidade no solo e disponibilizar água à planta, por exemplo, através de sistemas de irrigação, atividade pouco comum em empreendimentos florestais, que necessita de maiores estudos na região.

Figura 41 - Zoneamento topoclimático do paricá no município de Dom Eliseu, PA

4.4.3 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo no município de Dom Eliseu é apresentado na Figura 42 e a verificação da exatidão deste mapa encontra-se na Tabela 15.

Figura 42 - Uso e cobertura do solo no município de Dom Eliseu, PA em 2010

Verificou-se que as áreas antropizadas somam 182.036,2 ha, ou seja, 35% do município. Destaca-se que áreas com vegetação secundária e em regime de exploração madeireira, não estão sendo consideradas como área antropizada, mas como remanescentes florestais que, juntas, equivalem a 344.717,7 ha (65% do município).

Ao considerar a proporção de áreas desflorestadas, com aplicabilidade do modelo de mistura espectral, gerando as imagens - fração solo, vegetação e sombra, representando as proporções existentes em cada pixel da imagem, técnica utilizada pelo INPE para verificação das áreas desflorestadas (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006), o percentual de remanescentes florestais reduziria consideravelmente. Porém, neste trabalho a classificação supervisionada do uso e cobertura do município foi realizada com o propósito de identificar os plantios florestais, mas precisamente os plantios de paricá, não exigindo uma análise tão detalhada.

Entretanto, sabe-se que os remanescentes florestais em Dom Eliseu vêm sofrendo intensa pressão antrópica. Em 2011, mais de 60% do município encontravam-se desflorestados (MARTORANO et al., 2011), principalmente próximo a estradas e rodovias, ao longo da BR-222 (Fortaleza-Marabá) e BR-010 (Belém-Brasília), possivelmente, relacionadas à facilidade de acesso a estes ambientes, e próximos a cursos d'água, principalmente relacionados as atividades agropecuárias. Em 2012 as áreas desflorestadas são superiores a 64,0% (PRODES, 2013).

Ao comparar os usos do solo identificados neste trabalho com dados do Terra Class do ano de 2008, disponibilizados na literatura, verificou-se que a pecuária ainda é bastante expressiva no município, cobrindo 142.079,8 ha, visto que em 2008, a mesma ocupava 196.890 ha (TERRA CLASS, 2011). A agricultura, principalmente de grãos, é crescente, passando de 17.825,0 ha, em 2008, para 27.354,2 ha, em 2010, ocupando extensas áreas, principalmente áreas planas no município.

Também, apesar de representar um pouco mais de 2% do uso do solo, os reflorestamentos são crescentes. Em escala comercial são encontrados principalmente clones de *Eucalyptus* spp. (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. pellita* (MATOS et al., 2012), que ocupam cerca de 6.517,1 ha, e paricá, que abrange 4.578,0 ha. Juntos (Eucalipto e paricá) correspondem a 11.095 ha plantados no município.

Em Dom Eliseu foram observados seis tipos de uso do solo a partir de classificação supervisionada de imagens LANDSAT/TM-5 (2010) e verificação de campo (Figura 43).

Figura 43 - Principais usos do solo encontrados em Dom Eliseu. a) pastagens produtivas; b) plantios de soja; c) remanescente florestal; d) pastagens improdutivas; e) plantios de paricá; e f) plantios de eucalipto

O mapa teve sua classificação verificada (Tabela 13), tendo sido obtido um acerto global de 86%, valor de exatidão acima do mínimo aceitável (85%) para classificações empregando imagens orbitais (JENSEN, 1996), e índice kappa global de 0,78, considerado de boa qualidade, conforme intervalo de qualidade estabelecido por Landis e Koch (1977), citado na Tabela 6.

Tabela 13 - Matriz de confusão: Mapa de uso e cobertura do solo

MAPA	Pontos verificados (interpretação visual e verdade terrestre)						
	Exatidão global: 219/255=0,86 ou 86%; Coeficiente kappa: 0,783						
	Remanescentes florestais	Pastagens	Agricultura	Paricá	Núcleo urbano	Eucalipto	Total
Remanescentes florestais	120	13	1	0	0	0	134
Pastagens	3	52	0	0	0	0	55
Agricultura	2	3	15	0	0	0	20
Paricá	9	3	1	7	0	0	20
Núcleo urbano	0	0	0	0	6	0	6
Eucalipto	0	0	0	1	0	19	20
Total	134	71	17	8	6	19	255

Na matriz de erros, ou matriz de confusão, a diagonal indica o número de pontos onde houve coincidência entre o mapa e a verdade terrestre. A partir dela são encontrados os

erros de comissão (inclusão) e omissão (exclusão) para cada classe de uso e cobertura do solo, apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Percentagem de erro por classe de uso e cobertura do solo

Classes	Erro de omissão (%)	Erro de comissão (%)
Remanescentes Florestais	10,4	10,4
Pastagens	26,8	5,5
Agricultura	11,8	25,0
Paricá	12,5	65,0
Núcleo Urbano	0,0	0,0
Eucalipto	0,0	5,0

Observa-se que a classe *paricá* apresentou maior taxa de erro de comissão (65%), ou seja, houve a inclusão do mesmo, dentro de uma classe à qual ela não pertencia. O confundimento espectral se deu principalmente, com remanescentes florestais, mais precisamente em áreas de vegetação secundária com forte presença de embaúba (*Cecropia* spp.). Supõe-se que a resposta espectral entre as espécies seja semelhante, mesmo que a arquitetura foliar seja diferente, pois ambas apresentam copa umbeliforme, fuste reto e alto que destacam-se na paisagem, principalmente em capoeiras com baixo grau de sucessão. No entanto, maiores estudos envolvendo índices de vegetação para essas espécies devem ser desenvolvidos.

Também, a classe *Agricultura* apresentou erro de comissão de 25%, principalmente por confundimento com pastagens, possivelmente relacionado à resposta espectral de solo, bastante significativa quando existem pastagens degradadas, ou a dados radiométricos registrados em época de menor oferta pluvial, pois segundo Sano et al. (2002) em época seca os valores de reflectância para as pastagem aumentam e assemelham-se bastante as curvas espectrais do solo ou de matérias secas. A imagem utilizada na classificação supervisionada é de setembro de 2010, período de maior deficiência hídrica no município.

Quanto aos erros de omissão, as pastagens apresentaram maior percentual (26,8%), ou seja, houve exclusão da classe à qual ela pertencia de fato, apresentando confundimento com remanescentes florestais, que pode estar relacionado à regeneração natural de espécies lenhosas, árvores e/ou arbustos nas pastagens, ou a sombras causadas por condições de relevo que apresentam diferenças nas quantidades de radiação eletromagnética recebida para um

mesmo posicionamento solar (CANAVESI; PONZONI, 2010), ou mudanças de uso do solo, onde áreas vegetadas passaram a pastagem na época de verificação a campo.

Entre o paricá e o eucalipto houve o erro de omissão de 12,5%, pois plantios florestais homogêneos possuem forma, textura e espaçamento semelhantes, podendo causar confundimento na resposta espectral. Entretanto, existem características dos dosséis que permitem a identificação de respostas espectrais diferentes de espécies florestais, tais como, nas folhas, galhos, troncos, substrato, a iluminação e a arquitetura dos indivíduos (CANAVESI; PONZONI, 2010).

As classes que não sofreram ou sofreram baixa confusão foram as de *núcleo urbano* e *plantios de eucalipto*. No caso da área urbana, o fato deveu-se ao baixo número de pontos amostrados, pois ela representa apenas 0,3% (1507,1 ha) do município. Quanto à classe de eucalipto, o baixo confundimento atribui-se ao fato de que os plantios são, em sua maioria, compostos por clones e apresentam povoamentos mais homogêneos, assim como ocupam áreas extensas que facilitam a identificação das respostas espectrais com baixo valor de mistura espectral no pixel do LANDSAT.

Foram obtidos, assim, 219 pontos de controle corretamente classificados, dos 255 pontos avaliados.

4.4.4 Comportamento espectral da vegetação em Dom Eliseu, PA

A avaliação de padrões de uso e cobertura do solo, por meio de classificação supervisionada de imagens LANDSAT-5 possibilitou melhor compreensão dos valores de NDVI, identificados em imagens do sensor MODIS, principalmente de julho a dezembro (Figura 44).

Valores de NDVI próximos a 1, em tonalidade verde escuro, correspondem às áreas de vegetação com maior vigor, ou seja, com números digitais mais elevados; valores intermediários indicam menor vigor da vegetação; e valores mais próximos à zero (0), tonalidade verde claro a branco, indicam que a superfície está pouco ou não vegetada. A variação de NDVI pode ser explicada pelo tipo da vegetação analisada, arquitetura do dossel, área foliar, fenologia, fisiologia das folhas e respostas a estresse hídrico, nutricional ou fitopatogênico (JENSEN, 2009; ALVARES et al., 2013).

Figura 44 - Comportamento do NDVI durante o ano de 2010 no município de Dom Eliseu, PA

Visualmente, é possível notar cenários diferentes no padrão de comportamento de NDVI, com sensíveis decréscimos, possivelmente em resposta aos baixos níveis de oferta pluvial no município de julho a dezembro. Ao analisar-se o padrão climático, observa-se que no período de baixa oferta pluvial, a deficiência hídrica dos solos é intensificada, e seus efeitos podem ser expressos em NDVI nas áreas com plantios de paricá, de eucalipto e de vegetação nativa (Figura 45), apontando a forte influência à deficiência hídrica no comportamento do índice de vegetação (MONTEIRO et al., 2013).

Os dados obtidos evidenciaram que tanto a hipótese de paralelismo como a horizontal foram rejeitadas, ou seja, existe uma tendência crescente nos NDVI médios no período chuvoso, com decréscimos nos valores de NDVI para os três tipos de florestas analisadas, no início da deficiência hídrica, corroborando com Maire et al. (2011), os quais apontam queda e diminuição da produção de folhas em povoamentos florestais, na época mais seca, como estratégia de sobrevivência à forte demanda evapotranspiratória.

Os resultados dos testes sobre tendências de variação sugerem que o comportamento temporal dos perfis médios dos NDVI pode ser explicado por um polinômio de grau 11. Não há uma coincidência entre os perfis de NDVI, pois os graus de polinômios foram significativos, rejeitando-se a hipótese H_0 : as médias são iguais no tempo, considerando (Valor $p < 0,05$), aceitando-se a hipótese H_1 : as médias diferem entre si no tempo.

Figura 45 - Perfil espectro-temporal do NDVI do Modis para florestas nativas e plantadas em Dom Eliseu, PA

Verificaram-se diferenças significativas entre as três curvas analisadas, com menor variação no padrão do NDVI da floresta nativa em comparação à floresta plantada, associada à diversidade de espécies, de estratos de dosséis na floresta natural, e presença de indivíduos adultos com raízes em diferentes estratos de profundidade, capazes de favorecer a captação de água e nutrientes mantendo a umidade no solo. A menor média encontrada na floresta nativa foi em setembro (0,8), em acordo com valor encontrado por Anderson e Shimabukuro (2007) em floresta ombrófila aberta na Amazônia (0,86) utilizando imagens MODIS.

Nos plantios de paricá e eucalipto, observa-se comportamento semelhante com decréscimo em NDVI nos meses de junho a setembro, porém o paricá é mais sensível à escassez de água no solo, um aumento de 20 mm de deficiência hídrica (40 mm a 60 mm), houve redução nos valores do NDVI do paricá de 0,85 para 0,68, mantendo-se constante até janeiro, quando o índice começa a aumentar, devido ao retorno das chuvas.

As médias, com base nas amostras e desvio padrão dos níveis digitais para floresta nativa, plantios de paricá e eucalipto amostrados, obtidas através do teste não-paramétrico Kruskal-Wallis (Valor $p < 0,05$) é apresentada na Tabela 15.

A partir dos dados médios de deficiência hídrica e NDVI dos plantios de paricá no ano de 2010, obteve-se a equação exponencial apresentada na Figura 46, que evidencia correlação negativa, ou seja, com o aumento da deficiência hídrica ocorre o decréscimo no vigor do paricá, de julho a dezembro, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9 ou 90%.

Tabela 15 - Médias e desvio padrão do NDVI por tipo de vegetação

Meses	Floresta nativa	Eucalipto	Paricá
Jan	0,90 $\pm$ 0,05 ^a	0,76 $\pm$ 1,0 ^b	0,65 $\pm$ 0,15 ^c
Fev	0,88 $\pm$ 0,04 ^a	0,78 $\pm$ 0,07 ^b	0,70 $\pm$ 0,13 ^c
Mar	0,90 $\pm$ 0,03 ^a	0,84 $\pm$ 0,09 ^b	0,78 $\pm$ 0,09 ^c
Abr	0,92 $\pm$ 0,04 ^a	0,89 $\pm$ 0,05 ^b	0,84 $\pm$ 0,07 ^c
Mai	0,87 $\pm$ 0,03 ^b	0,89 $\pm$ 0,03 ^a	0,85 $\pm$ 0,06 ^c
Jun	0,88 $\pm$ 0,03 ^b	0,89 $\pm$ 0,03 ^a	0,86 $\pm$ 0,06 ^c
Jul	0,86 $\pm$ 0,02 ^a	0,85 $\pm$ 0,03 ^b	0,77 $\pm$ 0,06 ^c
Ago	0,85 $\pm$ 0,02 ^a	0,79 $\pm$ 0,06 ^b	0,68 $\pm$ 0,11 ^c
Set	0,85 $\pm$ 0,03 ^a	0,76 $\pm$ 0,05 ^b	0,66 $\pm$ 0,06 ^c
Out	0,78 $\pm$ 0,06 ^a	0,75 $\pm$ 0,06 ^b	0,66 $\pm$ 0,13 ^c
Nov	0,82 $\pm$ 1,0 ^a	0,75 $\pm$ 1,0 ^b	0,66 $\pm$ 0,14 ^c
Dez	0,78 $\pm$ 0,08 ^a	0,77 $\pm$ 1,1 ^a	0,67 $\pm$ 0,15 ^c

Figura 46 - Equação de correlação entre a deficiência hídrica e índice de vegetação por diferença normalizada do paricá

Também, encontraram-se diferenças significativas (Valor $p < 0,05$) na resposta do paricá nas três idades analisadas, corroborando com a análise anterior, de que o paricá sofre forte influência da baixa oferta hídrica. Entretanto, a diferença é marcante nos plantios com três anos de idade (Figura 47). Atribui-se esse resultado à baixa percentagem de cobertura do dossel, ocorrendo bastante resposta de solos e/ou ao fenômeno de reflectância aditiva pelo número de camadas de folhas que provoca maiores intensidades no infravermelho próximo (JENSEN, 2009).

Figura 47 - Variação do índice de vegetação com a idade em plantios de paricá

Considerando as amostras obtidas em plantios de paricá nas áreas de alto e médio potencial topoclimático (Figura 48), observaram-se diferenças significativas (Valor $p < 0,05$) pela análise de variância em julho, setembro e dezembro, épocas de início, ápice e final da deficiência hídrica, e para os outros meses (agosto, outubro e novembro), aceitou-se H_0 , ou seja, as médias apresentaram-se iguais estatisticamente (Valor $p \geq 0,05$) pelo teste não paramétrico Kruskal Wallis.

Figura 48 - Comportamento espectro-temporal de plantios de paricá em áreas topoclimáticas de alto e médio potencial em Dom Eliseu, PA

Também, ao comparar os valores médios de NDVI calculados para imagens MODIS e LANDSAT/TM-5 (Figura 49), verificou-se que as médias obtidas nas respectivas amostras não apresentam diferenças estatisticamente (Valor $p \geq 0,05$). Sabe-se das limitações dos produtos MODIS, devidas à baixa resolução espacial que, associada a áreas pequenas e talhões irregulares, pode causar presença de mistura espectral e confundimento nos valores do índice.

Figura 49 - NDVI em plantios de paricá sobre imagens LANDSAT e MODIS

As avaliações temporais de NDVI evidenciaram eficiência das imagens MODIS para obtenção de informações sobre os comportamentos espectrais da vegetação nos grandes padrões da paisagem, mesmo com baixa resolução espacial, mas com vantagem de alta resolução temporal, aumentando assim a probabilidade de imagens livre de nuvens, um dos principais problemas enfrentados pelo sensoriamento remoto na Amazônia.

Além das evidências já descritas, coletando-se uma amostra em plantios de paricá com seis pixels MODIS, que corresponde a 37,5 ha, é possível registrar valores em NDVI com desvio padrão de 0,06 em relação à média obtida pela imagem LANDSAT, com maior resolução espacial. No entanto, ao utilizar as imagens MODIS, deve-se ter um cuidado especial ao selecionar as amostras, pois existe maior influência por pixels vizinhos e a variação do nível de cinza pode não estar relacionada às mudanças no vigor vegetativo, mas sim a sua vizinhança.

4.4.5 Respostas dendrométricas e térmico-hídricas em plantios de paricá

Ao todo foram mensurados 530 indivíduos de paricá, em média 178 indivíduos por parcela, dependendo do espaçamento e mortalidade. Os valores médios e erro padrão da média de crescimento em diâmetro a altura do peito (cm), assim como, medidas de tendência e variabilidade dos dados são observados na Tabela 16.

Tabela 16 - Análise descritiva dos diâmetros coletados em plantios de paricá em Dom Eliseu, PA

Medidas	1ª Medição-Período Seco (2011)			2ª Medição-Período chuvoso (2012)			3ª Medição-Período seco (2012)		
	4 anos		2 anos	4,5 anos		2,5 anos	5 anos		3 anos
	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3m	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3m
1º Quartil	13,1	15,4	10,5	13,4	13,3	12,1	13,9	12,5	12,1
Máximo	22,0	21,7	13,2	23,6	23,4	15,9	23,7	23,4	15,9
Média	14,5	16,9	11,0	15,4	17,9	13,0	15,7	18,1	13,0
Mediana	14,7	16,9	11,3	16,1	16,1	13,3	16,2	14,6	13,3
Mínimo	5,6	10,2	5,6	5,6	10,2	6,2	5,8	10,2	6,2
3º Quartil	16,9	18,8	11,7	17,8	19,1	14,1	18,8	18,1	14,2
Amplitude total	16,4	11,6	7,5	18,0	13,2	9,7	17,9	13,2	5,9
Desv. padr.	3,1	2,3	1,4	3,4	3,5	1,7	3,3	3,5	1,7
Coef. de variação	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1

Os valores de DAP das árvores apresentaram média de 15,7 cm aos quatro anos e 11 cm aos dois anos. Os DAPs mínimo e máximo, próximo aos 4 anos de idade, variaram de 5,6 cm a 22 cm a, evidenciando a heterogeneidade dos povoamentos de paricá. Aos dois anos as árvores atingiram diâmetro máximo de 13,2 cm. Com o incremento anual, os valores de DAP apresentaram a média de 16,9 cm e 13 cm, aos cinco e três anos respectivamente. Os dados obtidos nas parcelas apresentam baixo coeficiente de variação e desvio padrão (2,7 cm). Também é possível analisar a distribuição dos indivíduos por classes diamétricas com amplitude de 2 cm, por parcela, em cada medição é apresentada na Figura 50.

Figura 50 - Distribuição diamétrica do paricá em plantios com idades de 4 a 5 anos em diferentes períodos de oferta hídrica no município de Dom Eliseu, PA. a) espaçamento 4 m x 3 m; b) espaçamento 4 m x 3,5 m.

Observa-se que os plantios apresentaram comportamento típico de florestas equiâneas, com maior concentração de indivíduos próximos à média, tendendo a uma distribuição normal. Verificam-se diferenças entre os valores da Figura 50a e 50b, na Figura

50 b observa-se maior número de indivíduos nas maiores classes diamétricas na sétima classe, com valor central 18,6 cm, o que diferencia da Figura 50a, que apresenta concentração na classe anterior (sexta classe), com valor central de 16,6 cm, além de indivíduos nas menores classes diamétrica.

Ressalta-se que os plantios encontravam-se na mesma fazenda, sob o mesmo sistema de manejo e mesma condição topoclimática, no entanto apresentam espaçamentos diferentes e sementes de procedências desconhecidas, o que pode ter causado diferenças na expressão dendrométrica da espécie, visto que as variações no padrão de diâmetro e altura em povoamentos florestais geralmente sofrem efeito da interação entre o genótipo e o espaçamento (LIN et al., 2013).

No plantio mais jovem (Figura 51), na primeira medição, próximo de dois anos, verifica-se maior homogeneidade do povoamento florestal, com concentração de indivíduos na terceira classe, cerca de 50% dos dados amostrados, com valor central de 10,6 cm de diâmetro. Aos três anos, o plantio apresenta comportamento semelhante aos plantios de quatro anos, com indivíduo dominantes e dominados, com concentração em torno da média, em classe com valor central de 12,6 cm.

Figura 51 - Distribuição diamétrica do paricá em plantios com idade de 2 a 3 anos em diferentes períodos de oferta hídrica no município de Dom Eliseu, PA

Em todos os plantios monitorados observaram-se diferenças significativas, segundo o teste de médias pelo teste de Turkey a 5% de probabilidade, na transição do período seco para o chuvoso, rejeitando-se a hipótese H0: os incrementos diamétricos são iguais na transição do período seco e chuvoso, considerando ($\text{Valor } p < 0,05$), aceitando-se a hipótese H1: os incrementos diamétricos são diferentes na transição do período seco para o chuvoso, a semelhança de estudos com *Eucalyptus grandis* que apontam a influência das condições

hídricas sobre o crescimento diamétrico, induzidos pelo deslocamento descendente de hormônio e carboidratos no floema (SETTE JR *et al.*, 2010).

Na transição do período chuvoso para o seco, as médias foram não significativas, com variações pouco expressivas nos ingressos nas maiores classes diamétricas, apontando a água como fator importante no aumento da expressão de crescimento da planta, corroborando com Cordeiro *et al.* (2008) e Monteiro *et al.* (2011) de que o clima exerce forte influência sobre o crescimento do paricá. Na Figura 52 observa-se o gráfico boxplot com o conjunto dos dados que permitiu avaliar a sua simetria, homogeneidade de variância, médias e dispersão dos diâmetros das árvores, permitindo as análises descritas e aplicação de testes estatísticos.

Figura 52 - Gráfico boxplot dos diâmetros obtidos em diferentes condições hídricas em Dom Eliseu, PA

Para as alturas, selecionou-se o modelo 4 de equação hipsométrica descrito na Tabela 4, ajustado para a altura total Eq. (7),

$$\text{Log}H = 0,8510 + 0,70978 * \text{Log}DAP \quad CV: 76,6\%; R^2_{aj}: 50,0 \quad (7)$$

O modelo foi significativo, a 99% de probabilidade, normalidade, distribuição dos resíduos mais uniforme apresentou menor coeficiente de variação e o maior coeficiente de determinação entre as equações avaliadas, portanto, foi considerado apropriado para explicar a variável independente.

Figura 53 - Análise gráfica dos dados ajustados pelo modelo 4. a) Gráfico de normalidade dos resíduos; b) Gráfico dos resíduos; c) Gráfico de ajuste entre as variáveis

Desta forma, com as alturas observadas e estimadas, obteve-se a análise descritiva para a variável altura total apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 - Análise descritiva das alturas coletadas em plantios de paricá no município de Dom Eliseu, PA

Altura total	1ª medição_período seco			2ª medição_período chuvoso			3ª medição_período seco		
	4 anos		2 anos	4,5 anos		2,5 anos	5 anos		3 anos
	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3m	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3m	4mx3m	4mx3,5m	3,5mx3m
1º Quartil	13,7	16,0	11,6	14,6	16,6	12,9	15,3	17,2	14,1
Máximo	21,0	21,8	15,3	22,1	22,0	16,6	22,8	23,0	20,1
Média	15,2	17,2	12,3	16,0	17,8	13,6	16,9	18,8	15,3
Mediana	15,2	17,1	12,4	16,4	18,0	13,7	17,0	18,9	15,4
Mínimo	7,9	9,2	6,5	8,0	12,6	7,0	10,0	12,7	7,7
3º Quartil	17	18,8	13,6	17,9	19,3	14,8	18,8	20,4	16,7
Amplitude total	13,1	12,6	8,8	14,1	9,4	9,6	12,8	10,3	12,4
Desv. padr.	2,5	2,0	1,9	2,7	1,9	1,9	2,6	2,1	2,2
Coef. de variação	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

O paricá apresentou altura total média de 16,1 m, aos 52 meses, e 12,3 m, aos 27 meses, ou seja, próximos aos 4 e 2 anos, respectivamente. As alturas máximas e mínimas variaram de 21,4 m e 8,6 m, aos quatro anos, e 15,3 m e 6,5 m, aos dois anos. Aos 5 anos, na terceira medição, constatou-se média de 17,6 m, e próximos aos três anos de 15,3 m. As parcelas apresentam baixo coeficiente de variação e desvio padrão médio de 2,2 cm entre os conjuntos de dados. Ao comparar a influência do período sobre o incremento em altura, por meio do teste não paramétrico de Krushal Wallis, não se verificaram diferenças significativas, a nível de 5 %.

Observa-se que tanto os valores em diâmetro, quanto em altura, encontram-se dentro dos limites encontrados para a espécie na literatura (Tabela 18), também evidenciando crescimento acima de outras espécies plantadas na Amazônia, consideradas de crescimento rápido (Tabela 19).

Tabela 18 Comportamento dendrométrico avaliados em plantios de paricá na Amazônia brasileira

Idade (anos)	Espaçamento	DAP (cm)	H (m)	UF	Autor
3	4m x 3,5m	15,3	17,6	PA	Sousa (2011)
3	4m x 3m	15,7	18,2	PA	Sousa (2010)
3	3m x 3m	6,59	5,93	PA	Marques (1990)
5	4m x 4m	19,15	21,2	PA	Hoffman <i>et al.</i> (2011)
5	3m x 4m	17,4	21,5	RO	Tonini <i>et al.</i> (2005)
5	4m x 4m	19,5	20,0	MT	Rondon (2002)
5	4m x 3m	17,4	21,5	MT	Rondon (2002)
6	4m x 3m	16,5	16,8	PA	Silva (2009)

Em que: DAP é Diâmetro a altura do peito; H é a altura total; UF é a unidade federativa onde estava localizado o plantio; Autor é a fonte da literatura.

Tabela 19 - Comportamento dendrométrico de espécies de rápido crescimento plantadas na Amazônia brasileira

Origem	Espécie	Idade (anos)	DAP (cm)	H(m)	UF	Autor
Nativa (Amazônia)	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don. (pará-pará)	2	3,8	5,6	RR	Arco Verde e Schwengber (2003)
Nativa (Amazônia)	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) (morototó)	2	8,5	4,1	RR	Arco Verde e Schwengber (2003)
Nativa (Amazônia)	<i>Esclerolobium paniculatum</i> Vogel. (taxi-branco)	4	8,0	9,7	RR	Arco Verde e Schwengber (2003)
Nativa (Amazônia)	<i>Esclerolobium paniculatum</i> Vogel (taxi-branco)	11	22,4	16,5	AM	Souza et al.(2008)
Nativa (Amazônia)	<i>Hymenaea courbari</i> (jatobá)	11	16,5	16,5	AM	Souza et al.(2008)
Nativa (Amazônia)	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.(andiroba)	11	16,4	14,7	AM	Souza et al.(2008)
Exótica (Austrália e Indonésia)	<i>Acacia mangium</i>	4	9,5	14,0	AM	Sousa et al.(2004)
Exótica (Austrália)	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> (Urograndis)	4	10,6	17,7	AM	Sousa et al.(2004)
Exótica (Austrália)	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i> (Urograndis)	9	17,6	21,1	RO	Viera et al. (2007)
Exótica (Ásia, Myanmar, Índia, Tailândia e Laos)	<i>Tectona grandis</i>	7	8,9	11,9	RR	Tonini et al. (2009)

Na Tabela 20 são apresentados os componentes dendrométricos, como volume sólido com casca, área basal, os incrementos médio anual em diâmetro, altura e volume, calculados para os plantios monitorados em condição de alto potencial topoclimático e para os plantios em condição de médio potencial, disponibilizados pelos silvicultores.

Entre os dados monitorados, com idades próximas aos cinco anos (64 meses) observaram-se diferenças na dinâmica de crescimento. O plantio no espaçamento 4 m x 3,5 m, apresentou rendimento médio superior em todas as componentes, com a produtividade 33,8 m³. ha⁻¹. ano⁻¹, próxima ao potencial máximo já descrito para esta espécie, de 35 m³. ha⁻¹. ano⁻¹ no sexto ano de plantio (VIDAURRE et al., 2012). Vale destacar que a espécie não possui melhoramento genético e responde de forma favorável às condições topoclimáticas. Acredita-se que o plantio com espaçamento 4 m x 3m apresentou baixo rendimento principalmente por questões de manejo.

Tabela 20 - Componentes dendrométricos obtidos em povoamento de paricá em condição de alto e médio potencial topoclimático

Potencial topoclimático	Idade (meses)	Espaçamento	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	G (m ² .ha ⁻¹)	IMAd (cm)	IMAh(m)	IMAv(m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Fonte
Alto	64	4m x 3m	114,5	13,4	3,0	3,2	21,5	Monitorado
Alto	64	4m x 3,5m	179,4	19,1	3,4	3,7	33,8	Monitorado
Alto	38	3,5 m x 3m	122,3	15,7	4,1	4,8	38,6	Monitorado
Médio	60	3m x 5m	138,5	17,2	3,7	3,2	27,7	Silvicultor
Médio	36	3m x 3,5m	84,6	10,9	4,2	4,9	28,3	Silvicultor
Médio	35	3m x 3m	107,2	14,8	4,5	4,6	36,8	Silvicultor

Em que: G é igual à área basal; IMAd é o incremento médio em diâmetro; IMAh é o incremento médio em altura; IMAv é o incremento médio em volume.

O plantio de 60 meses, em condição de médio potencial, apresentou incremento médio em volume de 27,7 m³. ha⁻¹.ano⁻¹ e área basal de 17,2 m², considerado de alta produtividade para um plantio com menor número de indivíduos por hectare, pelo espaçamento de 3 m x 5 m, em relação ao monitorado, e encontrar-se em condição de médio potencial topoclimático. Segundo o proprietário, esse plantio foi planejado em 2005, quando a silvicultura da espécie ocorria com maiores espaçamentos e, na área escolhida, previamente ao paricá, havia plantios agrícolas e sistemas agroflorestais, o que pode ter favorecido a expressão em crescimento da espécie. Com isso, supõe-se que, mesmo em condição de médio potencial, é possível obter uma produção eficiente, porém, deve-se dar especial atenção ao tipo de manejo aplicado.

Quanto aos plantios mais jovens, de 35 a 38 meses, próximo aos 3 anos, existe indicativos de que os plantios em condição alto potencial serão superiores aos de médio potencial, pelo valores apresentados. No entanto, não foi possível fazer inferências mais precisas, pois os plantios ainda estão em processo de crescimento e desenvolvimento.

Espera-se que novos estudos possam verificar de forma mais aprofundadas diferenças em plantios nas zonas de potencialidades topoclimáticas, em uma escala de maior detalhe, considerado os tratamentos silviculturais, capacidade produtiva e dados meteorológicos oriundos de estações próximas às áreas de plantio, de forma a ampliar estudos capazes de auxiliar os produtores na busca pela precisão na silvicultura e expandir novas cadeias produtivas sobre as áreas subutilizadas.

Como uma proposta de avaliação de elementos agrometeorológicos, em plantios de paricá, a fim de verificar as flutuações térmico-hídricas nos períodos de maior e menor oferta pluvial, obtiveram-se as curvas de temperatura e umidade relativa do ar, em escala de 24 h,

nos plantios jovens e nos plantios próximos ao ciclo de corte, no período chuvoso (Figura 54) e seco (Figura 55), registrando as máximas e mínimas das variáveis.

Figura 54 - Variações térmicas e hídricas em plantios de paricá no período de chuvoso no município de Dom Eliseu, PA. a) Plantio jovem (3 anos); b) Plantio adulto (5 anos)

Observam-se as variações de temperatura e umidade relativa do ar na época chuvosa, apontando condições do microclima em plantações de paricá, em Dom Eliseu (Figura 54). Salienta-se que as informações são referentes a dias isolados em cada período, não representando as médias mensais ou anuais, para os quais seriam necessárias séries históricas de monitoramento.

Em ambas as idades, as temperaturas são mais elevadas entre 13h e 15h, em torno dos 32 °C, e menores temperaturas entre as 5h e 6h, em torno de 22,6 °C. Consequentemente, as amplitudes térmicas provocam mudanças na umidade relativa, que apresenta as mínimas e

as máximas, de 63% e 99%, respectivamente, nos mesmos intervalos, de forma inversamente proporcional.

Analisando separadamente os períodos diurno (6h às 18h) e noturno (18h às 6h), verificam-se diferenças no comportamento das variáveis entre o plantio de 3 anos (Figura 55a) e o plantio de 5 anos (Figura 55b). No plantio jovem, as temperaturas se elevam mais rapidamente, registrando 28,5°C às 9:30h da manhã. No entanto, essa variação é mais gradual ao longo do dia, alcançando a máxima de 31,4°C, às 15h. O rápido aquecimento pode estar relacionado à arquitetura do dossel, menor densidade das folhas, fustes mais baixos, maior exposição e aquecimento do solo, menor velocidade do vento, fatores que respondem à incidência de radiação e às trocas de calor entre o solo, a planta e atmosfera.

No plantio adulto, o aumento de temperatura é crescente, porém em períodos mais espaçados. Das 12h às 17h, as temperaturas oscilam entre 29,0 °C e 33,5 °C, provavelmente devido a pequenos intervalos de chuva. Sabe-se quanto maior a temperatura, maior a demanda evapotranspirativa da atmosfera (MARTORANO et al., 1993). Mas, como se trata do período chuvoso, a planta consegue manter um balanço hídrico.

Com relação à umidade relativa, os plantios jovens apresentam média de 71%, das 12 às 17h, e média de 64%, nos adultos, no mesmo período, influenciados pelas altas temperatura e perda de vapor d'água por condução para a atmosfera. À noite, devido à diminuição da temperatura, a umidade aumenta nos plantios até valores próximos a 100%, permanecendo elevada pela manhã, até aproximadamente às 9h.

No período menos seco, as variações de temperatura e umidade são mais expressivas (Figura 55a e 55b), pois as temperaturas são mais intensas, pelos dias consecutivos com ausência ou pouca chuva, que não ultrapassa a 60 mm, de julho a setembro.

Observa-se que os plantios de ambas as idades apresentam comportamento semelhantes, porém, o plantio de três anos apresentou temperaturas ligeiramente superiores (Figura 55a). Por problemas de bateria do sensor, não foi possível registrar as primeiras horas do dia 30 ao dia 01 de outubro de 2012, mesmo assim obtiveram-se as máximas e as mínimas, correspondentes ao período seco, de 36°C e umidade relativa de 40%, das 14h às 16h. No período noturno, os plantios apresentaram a temperatura mínima de 21°C e umidade relativa máxima, em torno de 97%, que diminuem novamente próximo às 6h, de forma diferente do período chuvoso. Esses valores extremos podem ser explicados pela perda de folhas e morte de indivíduos jovens, que não resistiram ao período de baixa oferta pluvial, favorecendo a incidência solar provocando amplitudes térmicas.

Figura 55 - Variações térmico e hídrico em plantios de paricá no período seco, em Dom Eliseu, PA. a) Plantio jovem (3 anos); b) Plantio adulto (5 anos)

Estudos semelhantes, avaliando as condições microclimáticas foram realizados para plantios de *Pinus radiata* (em plantios de *Eucalyptus grandis* (SETTE JUNIOR et al., 2010), em florestas tropicais na Amazônia (COSTA et al., 2006), os quais tem se intensificado cada vez mais, com o avanço tecnológico.

O conhecimento dessas variáveis são essências para a caracterização do microclima no interior de florestas, pois permite o melhor entendimento de fenômenos relacionados à troca de energia na floresta e às limitações fotossintéticas, abrindo oportunidades de estratégias de manejo que visem a minimizar os efeitos de baixa oferta hídrica na expressão em crescimento das árvores, sobretudo de plantios de espécies nativas, como o paricá, com reflexos positivos na produtividade.

4.4.6 Cenários de expansão da cadeia do paricá até 2020

4.4.6.1 Forças Motrizes

As condicionantes capazes de influenciar a cadeia produtiva do paricá no Estado do Pará são apresentadas na Figura 56. Essas forças motrizes possibilitam melhor compreensão do presente, tendo em vista a análise de cenários futuros e a minimizar riscos (MARIEN, 2002). Porém, sabe-se que os sistemas produtivos são cadeias em constantes transformações econômicas, políticas e tecnológicas, as quais são impulsionadas por necessidades de mudança, determinadas pela demanda por alimento, matéria prima renovável, padrões de consumo e pressões ambientais.

Figura 56 - Forças motrizes da silvicultura do paricá no Estado do Pará

Para a expansão da silvicultura do paricá identificaram-se cinco condicionantes primárias: i) *a pesquisa*, que precisa compartilhar conhecimentos com os silvicultores e viabilizar soluções para aumento de produtividade; ii) proteção florestal a problemas fitopatológicos, entomológicos e tratos culturais; iii) melhoramento genético; iv) avaliação de ecologia funcional dos plantios, impactos e benefícios; e v) *políticas públicas*, capazes de fornecer alternativas de produção aos pequenos, médios e grandes produtores, fomentando o desenvolvimento local.

Outros vetores importantes são vi) o *financiamento para o setor florestal*, com esclarecimento de oportunidades que estão associadas ao Banco Nacional do

Desenvolvimento - BNDES e fundos institucionais, nas linhas de financiamento (BNDES Florestal, BNDES Meio Ambiente, PRONAF (PROFNAF Eco), BNDES ABC, BNDES Compensação Florestal, BNDES Fundo Clima, FNO Biodiversidade (Empreendimentos sustentáveis e áreas degradadas), FNO Amazônia Sustentável, FCO Programa ABC e FNE Verde) (SFB, 2013); vii) *a valorização do mercado externo*, para escoamento da oferta de produtos que poderão ser obtidos com a expansão dos plantios; viii) *mudanças climáticas*, avaliação dos riscos e impactos dos plantios frente às mudanças climáticas, que novamente está associada à pesquisa e influencia todas as condicionantes anteriores e subsequentes.

No entanto, na segunda esfera foram identificadas oito condicionantes, como i) *disponibilidade de área*, com a proposta de recomposição de paisagens alteradas, as áreas disponíveis seriam aquelas previamente desflorestadas; ii) *atividades econômicas competitivas*, cada município têm as principais atividades econômicas, porém, não significa que o município possui vocação para tais atividades, mas às vezes existe resistência a novos sistemas, pois o reflorestamento está em expansão, como atividade recente na Amazônia (ALMEIDA; COUTINHO; SANTANA, 2011); iii) *potencial topobioclimático*, uma vez identificadas as zonas de potencialidade (alto, médio e baixo), pode-se planejar com o conhecimento as áreas preferenciais e de vulnerabilidade para o plantio de paricá.

Para a expansão dos plantios, também é preciso considerar os vetores iv) *semente e produção de mudas*, as características, diferenças e semelhanças, entre indivíduos de diferentes procedências precisam ser conhecidas, as equipes precisam ser treinadas para coleta de sementes e manutenção da diversidade genética, e técnicas de melhoramento genético precisam ser aplicadas, na busca por sementes geneticamente superiores e estabelecimento de pomares de sementes florestais; e diminuir a v) *prospecção de pragas e doenças*, esses problemas podem inviabilizar a produtividade do paricá e causar desinteresse dos produtores, por elevação dos custos e perdas significativas.

Alcançar a alta produtividade com o uso racional dos recursos é o objetivo do silvicultor para uma produção eficiente. Entretanto, essa produção terá maior retorno econômico se houver vi) *indústrias* responsáveis pelo processamento e beneficiamento da madeira, as quais precisam de vii) *tecnologias* que proporcionem menores impactos, maiores rendimentos e oportunidades de emprego, renda e qualificação social. Mas para uma indústria estar em constante atividade é necessário abastecer as demandas, que precisam-se de viii) *mercados* em expansão, retornando as forças primárias.

Percebe-se que todas as forças motrizes então interligadas em diferentes graus de importância, tendências e incertezas, e assume-se que dentro de cada vetor existam outras forças e novas surgiriam com o avanço de plantios, dentro de uma lógica sustentável.

4.4.6.2 Cenários otimistas e pessimistas

O avanço das áreas plantadas com o paricá na Amazônia, de 2006 a 2012, pode ser explicado por um polinômio de sexto grau (Figura 57).

Figura 57 - Área plantada com o paricá na Amazônia

Fonte de dados: ABRAF, 2013.

Observa-se que a área plantada com o paricá duplicou, de 2006 para 2012, com aproximadamente 90 mil hectares plantados, no Pará, Maranhão e Tocantins, o que resultou na espécie nativa mais plantada do Brasil. Houve um aumento acentuado no registro de áreas plantadas de 2006 a 2007 e, nos anos subsequentes, o crescimento ocorreu de forma mais lenta.

Adotando-se o aumento da área plantada de 5% a.a. e valores máximos e mínimos de rendimento encontrado nas zonas de alto e médio potencial obtiveram-se quatro cenários, dois em condição otimista e dois em condição pessimista para o município de Dom Eliseu.

Na condição otimista, utilizaram-se os máximos rendimentos de $34 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (alto potencial) e $28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (médio potencial) e na condição pessimista, os menores rendimentos encontrados $22 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Alto potencial) e $19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (médio potencial). Desta forma os plantios de paricá em cada cenários ocupam 4.578 ha (2010), 5.843 ha (2015) e 7.457 ha (2020), também os valores em produção de madeira em tora por hectare e rendimento em reais, para cada condição são apresentados na Figura 58.

Figura 58 - Cenários de expansão da cadeia produtiva do paricá

Cenário1 (Otimista)

Em 2010, se toda a área identificada com plantios de paricá, estivesse na condição de alto potencial, supõe-se que os plantios teriam condições de alcançar o rendimento de $34 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, próximo ao rendimento máximo já descrito para a espécie (VIDAURRE et al., 2012). Se assim fosse, em 4.578 ha seriam obtidos 156 mil m^3 por ano, o que renderia 22 milhões de reais, dentro de um horizonte de planejamento de cinco anos, com valor do metro cúbico pago a R\$140,00 reais que poderiam ser revestidos em melhorias sociais no município. Isto só seria possível se toda a área plantada fosse colhida em 2010, com a mesma produtividade. Em 2015, com 5.843ha plantados, com o mesmo rendimento, chegariam a 199 mil m^3 , o que renderia 28 milhões de reais, e em 2020, com 7.457 ha plantados, seria possível obter 254 mil m^3 , gerando 36 milhões de reais de valor bruto de produção. Este valor em rendimento pode ser aumentado, conforme novos estudos e tecnologias forem desenvolvidos para a silvicultura dessa espécie, de forma a aumentar a eficiência dos plantios homogêneos, em consórcio de espécies florestais ou sistemas agroflorestais.

Cenário 2 (Pessimista)

Este cenário também está na condição de alto potencial topoclimático, porém com baixo rendimento ($22 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), o que pode estar relacionado ao fator genético ou ao manejo. Se em 2010 todas as áreas plantadas com paricá, 4.578 ha estivessem sob essa condição, seriam obtidos 100 mil m^3 , o que renderiam 14 milhões de reais. Em 2015, com 5.843ha plantados, com o mesmo rendimento, chegariam 129 mil m^3 , obtendo-se em torno de 18 milhões de reais, e em 2020, com 7.457 ha plantados, seria possível alcançar 164 mil m^3 , gerando 23 milhões de reais de valor bruto de produção. Este cenário apresenta uma diferença em relação ao cenário 1 de 13 milhões de reais em 2020, evidenciando que as operações silviculturais, quando planejadas e executadas de forma inadequadas podem resultar em indivíduos com menores incrementos volumétricos, mesmo em condições climáticas favoráveis.

Cenário 3 (Otimista)

Na condição de médio potencial em áreas onde o paricá apresenta vulnerabilidade em função da deficiência hídrica, que se intensifica de agosto a outubro no município considerou-se um alto rendimento ($28 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), tendo os efeitos topoclimáticos minimizados principalmente por estratégias de manejo. Em 2010, se os plantios estivessem nessa condição, 4.578 ha produziriam 182 mil m^3 , gerando aproximadamente 18 milhões de reais para o município. Em 2015, com 5.843ha plantados e o mesmo rendimento, chegaria-se a 164 mil m^3 , o que renderiam 23 milhões de reais, e em 2020, com 7.457 ha plantados, seriam obtidos 209 mil m^3 , gerando 29 milhões de reais de valor bruto de produção. Observa-se que este cenário apresenta maior eficiência que o cenário 2, que se encontra na condição preferencial, evidenciando que além das condições topoclimáticas também devem ser considerados outros fatores para se obter uma produção eficiente, como genéticos, nutricionais e uso de técnicas ou sistema de plantios.

Cenário 4 (Pessimista)

Também na zona de médio potencial, porém com baixo rendimento, $19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Além do fator topoclimático, esses plantios podem apresentar indivíduos com genótipo pouco produtivo, as áreas podem apresentar baixa fertilidade, baixa associação com microorganismo, intensa mato-competição, povoamento muito heterogêneo com indivíduos dominados e dominantes, entre outros problemas que podem afetar a expressão em

crescimento da espécie. Assim sendo, em 2010, se os plantios estivessem sob essa condição, em 4.578 ha seriam obtidos 87 mil m³, gerando aproximadamente 12 milhões de reais. Em 2015, com 5.843ha plantados, com o mesmo rendimento, chegaria-se a 111 mil m³, o que renderia 16 milhões de reais; e em 2020, com 7.457 ha plantados, seria possível alcançar aproximadamente 142 mil m³ e 20 milhões de reais de valor bruto de produção, uma diferença de 32% em relação ao cenário 3, o que corresponde a aproximadamente 9 milhões de reais.

As diferenças entre os cenários em produção de madeira em tora e em reais são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21. Diferença entre cenários, perdas em m³ e em reais.

Anos	Alto potencial (Cenário 1-Cenário2)		Médio potencial (Cenário 3-Cenário4)		Alto/médio (Cenário 1-Cenário3)	
	mil m3	milhões de reais	mil m3	milhões de reais	mil m3	milhões de reais
2010	54,9	7,7	41,2	5,8	27,5	3,8
2015	70,1	9,8	52,6	7,4	35,1	4,9
2020	89,5	12,5	67,1	9,4	44,7	6,3

Esses resultados apontam que existem diferenças em plantios entre zonas topoclimáticas e que estas diferenças podem ser mais expressivas, dentro da mesma condição topoclimática, caso não sejam considerados os outros pressupostos para uma produção eficiente e sustentável, como qualidade do material genético, tipos de solo, fertilidade e manejo.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Existem áreas topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá no Estado do Pará;
- A proposta metodológica permitiu a identificação de três zonas de potencialidades topoclimáticas (alto, médio e baixo) aos plantios de paricá no Pará;
- Os fatores determinantes para a indicação de zonas de potencialidades são as condições topotérmicas e a deficiência hídrica;
- A deficiência hídrica influencia no comportamento espectro-temporal da vegetação em Dom Eliseu, com variação distinta entre remanescentes florestais, plantios de paricá e de eucalipto;
- Existe tendência de decrescimento no vigor do paricá, expresso pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, nos meses de maior deficiência hídrica;
- As imagens MODIS, de baixa resolução espacial e alta resolução temporal, permitem mapear a dinâmica espectro-temporal em plantios de paricá, no município de Dom Eliseu;
- Existem diferenças significativas no crescimento diamétrico do paricá entre o período seco e chuvoso;
- Os plantios em áreas com alto potencial topoclimático expressam respostas espectrais e dendrométricas mais elevadas que os plantios em médio potencial topoclimático, apontando a influência de maiores ofertas hídricas no solo, no crescimento e desenvolvimento da espécie;
- No período seco, as variações térmicas e hídricas são mais expressivas em plantios jovens;
- Efeitos da deficiência hídrica são mais intensos na resposta espectral de plantios jovens, com três anos de idade do que em plantios próximos do corte, com idades de cinco anos;
- As zonas topoclimáticas podem auxiliar o planejamento de plantios na Amazônia, mas para alcançar alta produtividade de forma eficiente e eficaz, na condição dos cenários otimistas, também devem ser considerados aspectos genéticos, edáficos e silviculturais.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. **Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método.** Estud. Avançados, São Paulo, v. 3, n. 5, p. 4-20, jan. / abr. 1989.

ALMEIDA, L.S.; COUTINHO, C.H.O.; SANTANA, A.C. Perspectivas para o reflorestamento no Estado do Pará a partir do uso da terra no nordeste e sudeste paraense. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 13, p. 113-127, jul./dez. 2011.

ALVARES, C.A.; MUNHOZ, J.S.B.; STAPE, J.L.; STAHL, J.; ANDRADE, L.; SANTOS, G.; LIMA, R.; COUTINHO, R.T.; HOINACKI, R.; FOX, T. Caracterização da dinâmica dos índices de vegetação NDVI e EVI em plantações de Pinus do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, n 16, 2013. Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu: 2013 p. 2866-2873.

ARCO-VERDE, M.F.; SCHWENGBER, D.R. Avaliação silvicultural de espécies florestais no Estado de Roraima. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 59-63, jul. /set. 2003.

Agência Nacional de Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2013.

ARAÚJO, R.F.de; MATRICARDI, E.A.T.; NAPPO, M.E. Zoneamento ecológico de pequena escala para espécies florestais tradicionais no Distrito Federal. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 421-430, jun. 2012.

ANDERSON, L.O.; LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de. **Sensor Modis: Uma Abordagem Geral**. São José dos Campos: INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais., 2003.423p.

APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** v.161, p.105-121, 2012. Disponível em: <<http://www.tropicos.org/Name/13006411>>. Acesso em: 06 nov. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p.

AQUINO, L.C.S. de; VIEIRA, H.de M.; CRUZ, HP. Contribuições das técnicas de sensoriamento remoto para o diagnóstico de recursos vegetais com potencial energético na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 1423-1426.

ARAI, E.; FREITAS, R.M. de Pré-processamento. In: ANDERSON, L.O.; LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. de. **Sensor Modis: Uma Abordagem Geral**. São José dos Campos: INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, 2003.p.71-82.

AREVALO, L.A.; ALEGRE, J.C.; VILCAHUAMAN, L.J.M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 41p. (Documentos, 73).

ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. In: Reúñion Argentina y latina americana de agrometeorologia, 10 e 4, 2006, Argentina. **Anais...**Argentina: SBAGRO, 2006. p. 116 -122, 2006.

ASSAD, M.L.L.; HAMADA, E.; LANA, J.T.de O. Álgebra de mapas de atributos de solos para estimativa da aptidão agrícola de terras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3479-3486.

AUER, C.G.; GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; SANTOS, A.F. dos. **Doenças em Pinus: identificação e controle**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 28p. (Circular técnica, 48).

AZEVEDO, C.M.B.C.; VEIGA, J.B.de; YARED, J.A.G.; MARQUES, L.C.T. Desempenho de espécies florestais e pastagens em sistemas silvipastoris no Estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.60, p.57-65, dez. 2009.

BAUMANN, M.; OZDOGAN, M.; KUEMMERLE, T.; WENDLAND, K.J.; ESIPOVA, E.; RADELOF, V.C. Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia. **Remote Sensing of Environment**, Minneapolis, v. 124, p. 174–184, 2012.

BARNEBY, R.C. **Neotropical Fabales at New York: asides and oversights**. Brittonia, New York, n 48, p. 174-187, 1996.

BENECKE. **Orçamento do torno desfolhador a tração**. Contato disponível em: <<http://www.benecke.com.br/equipamentos/equipamentos-categorias-detalhes.php?id=13>>. Acesso em: 05 mai. 2013.

BEINROTH, F.H.; ESWARAN, H.; PALMIERI, F.; REICH, P.F. **Properties, classification and management of oxisols**. USDA-Natural Resources Conservation Service-International Programs Division, Washington, DC: 1996. 34p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MULLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.243-249. fev., 2006.

BERRA, E.F.; PEREIRA, R.S.; BRANDELERO, C. GOERGEN, L.C.de G.; DESSBESELL, L.; SABADI SCHUH, M.; KERVALD, L.A. Estimativa de volume florestal com imagem landsat 5. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, 2011. 1744-1750p.

BILA, J.M.; SANQUETTA, C.R.; MACHADO, S. do A. Classificação de sítios com base em fatores edáficos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de prata, Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 465-474, Jul. / Set., 2012.

BIRUNARA, A.; SHEKARI, F.; HASSANPOURAGHDAM, M.B.; KHORSHIDI, M.B. ESFANDYARI, E. Effects of water deficit stress on yield, yield components and phenology of canola (*Brassica napus* L.) at different growth stages. **Journal of Food, Agriculture e Environment**, v. 9 n. 3-4, p. 506-509, 2011.

BOOTH, T.H.; STEIN, J.A.; NIX, H.A.; HUTCHINSON, M.F. Mapping Regions Climatically Suitable for Particular Species: an Example using Africa. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v.28, p.19-31, 1989.

BOOTH, T.H.; JONES, P.G. Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Latin America. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v. 108, n. 1/2, p. 167–173, 1998.

BOOTH, T.H.; STEIN, J.A.; NIX, H.A.; HUTCHINSON, M.F. Mapping Regions Climatically Suitable for Particular Species: an Example using Africa. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v. 28, p. 19-31, 1998.

BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M. de; PINTO, F. de A. de C.; SOUZA, C.M.A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista da Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.1-9., Jan. / Mar., 2013.

BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R. de A. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 105-111, Jan. / Fev., 2004.

BRASIL. LEI n. 12.651, de 25 de julho de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e altera leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Lei nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001. **Congresso Nacional**, Brasília, 28 mai. 2012. Seção I, II e III.

BRASIL. LEI Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Congresso Nacional**, Brasília, 19 jul. 2000.

BRIENZA JR, S.; MANESCHY, R.Q.; MOURÃO JR, M. GAZEL FILHO, A.B.; YARED, J.A.G.; GONÇALVES, D.; GAMA, M.B. Sistemas Agroflorestais na Amazônia Brasileira: Análise de 25 anos de pesquisas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 60, p. 67-76, 2009.

BRIENZA JUNIOR, S.; MONTEIRO, D.C.A.; MARTORANO, L.G.; LISBOA, L.S.; MAESTRI, M. P.; SCHULER, A. Energetic potencial of the *Sclerolobium paniculatum* Vogel (taxi-branco) and its preferential top climatic condition in Eastern Amazonia, Brazil. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL, RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT. HAMBURG: Alemanha, 2009. **Proceedings...** HAMBURG, 2009.

BRIENZA JÚNIOR, S.; OLIVEIRA, R.P.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. 2011. Plantio de árvores de crescimento rápido para recuperação de áreas agrícolas na Amazônia Oriental brasileira: avaliações de sobrevivência e produções de milho e mandioca. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, v. 68 p. 347-353, 2011.

BROUWER, C.; GOFFEAU, A.; HEIBLOEM, M. Soil and water. In: _____. **Irrigation Water Management: Training Manual**, 1 - Introduction to Irrigation. FAO, 1985. cap. 2, p. 30-52.

BÜRGI, M.; HERSPERGER, A.M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change – current and new directions. **Landscape Ecology**, Arizona, v.19, p. 857–868, 2004.

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2007. 255p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001. p345.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; FUCKS, S.D.; CARVALHO, M.S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V. M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004, 209p.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.deM.; SOARES, J.V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2006.24p.

CAMARGO, A.P.deC.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.de Zoneamento Climático da Heveicultura no Brasil. Zoneamento Climático da Heveicultura no Brasil. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2003. 19 p. (Serie Documentos, 24).

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.S.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. de F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, Set., 2010.

CARRINO, T.A.; SOUZA FILHO, C.R. Mapeamento geológico na região da Província Mineral do Tapajós (PA) com base em dados dos sensores SAR das plataformas R99-B/SIPAM, RADARSAT-1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 21-26.

CASTRO, A.C.; LOURENÇO JR., J. de B.; SANTOS, N.deF.; MONTEIRO, E.M.M.; AVIZ, M.A.B.; GARCIA, A.R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2395-2402, nov., 2008.

CARVALHO, C.J.R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (*S. parahyba* var. *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, Viçosa, v, 29, p. 907-914, dez. 2005.

CARVALHO, P.E.R. **Paricá *Schizolobium amazonicum***. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 8p. Circular Técnica, 142. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/cirtec/edicoes/Circular142.pdf>. Acesso em: 06/11/2012.

CARVALHO, M. de P.; MENDONÇA, V.Z.de; PEREIRA, F.C.B.L.; ARF, M.V.; KAPPES, C.K.; DALCHIAVON, F.C.; Produtividade de madeira do eucalipto correlacionada com atributos do solo visando ao mapeamento de zonas específicas de manejo. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 42, n.10, 2012.p.1797-1803.

CARMO, F.C. de A.do; FIEDLER, N.C.; GUIMARÃES, P.P.; PEREIRA, D.P.; ANDRADE, W.S. de P. Análise de custos da implantação de cultivos de eucalipto em áreas acidentadas no sul do Espírito Santo. **CERNE**, Lavras, v. 17, n 4, p. 473-479, Out. / Dez., 2011.

CAMERINI, N.L.; MENDES, L.B.; MOTA, J.K.M.; NASCIMENTO, J.W.B.; FURTADO, D.A. Avaliação de instrumentos agrometeorológicos alternativos para o monitoramento da ambiência em galpões avícolas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.19, p.125-131, 2011.

CANAVESI, V.; PONZONI, F.J. Caracterização espectral de plantios de *Eucalyptus* utilizando dados Hyperion EO-1 e SRTM. **Ambiência Guarapuava**, Guarapuava, v.6 Ed. Especial 2010 p.127-136.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; MAIA, S.M.F.; CERRI, C.E.P.; COSTA JR, C.; FEIGL, B.J.; FRAZÃO, L.A.; MELLO, F.F.deC.; GALDOS, M.V.; MOREIRA, C.S.; CARVALHO, J.L.N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 102-116, Fev., 2010.

CHAVEZ JR, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, Minneapolis, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.

CHIRINO, E.; VILAGROSA, A.; VALLEJO, V.R. Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 344, n. 1/2, p. 99-110, Jul., 2011.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement, California** v. 20, n. 1, p. 37-46, Abr., 1960.

CORNELIUS, J.P. **Tree domestication by the World Agroforestry Centre and Partners in the Peruvian Amazon: lessons learned and future prospects**. Nairobi: World Agroforestry Centre, 2010. ICRAF Working Paper n. 107. Disponível em: <http://www.worldagroforestry.org/downloads/publications/PDFs/WP16850.PDF>. Acesso em: 02 abr. 2012.

COSTA, T.C.E.C. da; MARCO JÚNIOR, P.de; BRITES, R.S. Classificação do uso/cobertura da terra por meio de algoritmos não paramétricos comparados ao classificador de máxima verossimilhança. Editora UFPR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 56, p. 65-87, 2005.

COSTA A.C.L.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P.H.L.; COSTA R.F.; SILVA JUNIOR, J.A.; MALHI, Y.S.; ARAGÃO, L.E.O.C, MEIR, P. Estudos hidrometeorológicos em uma floresta

tropical chuvosa na Amazônia – Projeto Esecaflo. **Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo**, v. 21, p. 283–290, 2006.

COSTA, G.da; MARENGO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Revista Acta Amazônica, Manaus**, v.37, n.2, p.: 229 – 234, 2007.

COSTA A.C.L. da; PORTELA, B.T.T. Crescimento de biomassa aérea e de raízes em áreas de clareiras reflorestadas e floresta natural adjacentes na base petrolífera geólogo “Pedro de Moura” em Urucu, município de Coari, AM. IN: REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 3, 2010. Manaus. **Anais...Manaus:LBA**, 2010. 7 p.

COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de eucalyptus no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33 - 44, 1987.

COUTO, H.T.Z. do. **Sistemas de informações geográficas: aplicações florestais**. Piracicaba: IPEF, Dez. 1993. (Série Técnica, 9, n. 28).

CONGALTON, R.G. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, Minneapolis, v. 37, p. 35-46, 1991.

CORDEIRO, I.M.C.C. **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Ananas comosus* var *erectifolius* (L.B. Smith) Coppens e Leal sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará (PA)**. 2007. 117p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

CPTEC. **El Niño e La Niña: condições atuais**. São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 03 mai. 2013.

CRAVO, M. da S.; SMYTH, T.J.; BRASIL, E.C. Calagem em latossolo amarelo distrófico da Amazônia e sua influência em atributos químicos do solo e na produtividade de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, maio / Jun., 2012.

CRUZ, E.D.; CARVALHO, J.E.U. de; QUEIROZ, R.J.B. Scarification with sulphuric acid of *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke seeds - Fabaceae. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 308-313, Maio / Jun., 2007.

CRUZ, J.P. da; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; CAMPOS, J.C.C.; SMIT, L; NOGUEIRA, G.S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 679-685, Jul. / Ago., 2008.

DALMAGO, G.A.; HELDWEIN, A.B.; NIED, A.H.; GRIMM, E.L.; PIVETTA, C.R. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, Maio / Jun., 2006.

D'ARCO, E.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R. Índice de vegetação para estimativas de área plantada com arroz irrigado. In: Rudorff, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C.

O Sensor MODIS e suas aplicações no Brasil. São José dos Campos: INPE, 2007. cap. 9.p.123-131.

DEMATTE, J.L.I.; DEMATTE, J.A.M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil Central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.2. p. 272-286, jun./set.,1993.

DEWAR, R.C.; CANNEL, M.G.R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, Victoria, v. 11, p. 49-71, 1992.

DIAS-FILHO, M.B. **Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, dez., 2006. 30 p. (Serie Documento, 258.)

DOMEC, J.-C., J. OGEE, A. NOORMETS, J. JOUANGY, M. GAVAZZI, E. TREASURE, G. SUN, S.G. MCNULTY, AND J.S. KING. Interactive effects of nocturnal transpiration and climate change on the root hydraulic redistribution and carbon and water budgets of southern United States pine plantations. **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, n.6, p. 707-723, 2012.

DUCKE, A. Notas sobre a flora neotropica - II: as leguminosas da Amazônia Brasileira. **Instituto Agrônomo do Norte**: Belém, 1949. 247p. (Boletim técnico, 18).

DUTRA, S.; VEIGA, J.B. da; MANESCHY, R. **Estrutura de sistemas silvipastoris na Região Nordeste Paraense.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, dez., 2007. 25p. (Boletim de pesquisa, 64.)

EXPAMA, 2013. **Pisos acabados de madeira.** Disponível em: <<http://www.expama.com.br/br/index.html>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

EMBRAPA. **Zoneamento Ecológico-Econômico em Área sob a Influência da rodovia BR-163, no Estado do Pará.** Belém: 2010.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ).** Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2011.67p.

FAO - **State of the World's Forests.** Rome, 2011. 165p.

FAO - **State of the World's Forests.** Rome, 2012. 48p.

FERRAZ, S.F.deB.; VETTORAZZI, C.A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.4, p.575-583, 2003.

FERRAZ, S.F.B.; LIMA, W.de P.; RODRIGUES, C.B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v. 301, p. 58–66, 2013.

FEREZ, A.P.C. **Zoneamento edafoclimático de aptidão para espécies florestais em cenário de mudança climática:** Um estudo de caso na costa rica. Piracicaba, 2006. 62p. Departamento de Ciências Florestais. (Monografia).

FEARNSIDE, P.M.; LEAL FILHO, N. Soil and development in Amazonia: Lessons from the Biological Dynamics of Forest Fragments Project. In: BIERREGAARD, R.O.; GASCON, C.; LOVEJOY, T.E.; MESQUITA, R. **Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest**. Connecticut: Yale University Press, 2001. cap. 23, p. 291-312.

FENILLE, M.C.; CARDIM, M. Correlação espacial entre a altitude e as precipitações pluviométricas no estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 135-141, 2007.

FILGUEIRAS, G.C.; MOTA JUNIOR, K.J.A. da; SILVA, R.P. da; BENTES, E. dos S. Análise e perspectivas para o desenvolvimento da silvicultura no Estado do Pará. **Amazônia: Ci. e Desenv.**, Belém, v. 7, n. 13, Jul.p.33-59 / Dez., 2011.

FIGUEIREDO, P.S.de. Fenologia e estratégias reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semi-árido no nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Maranhão, v. 2, n. 2, p. 8, 2008.

FISCH, G.I.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.28, n.2, p. 101-126, 1998.

FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of sampling procedures and Data analysis for a Land-use and Land-cover Map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Reston, v. 47, n. 3, p. 343-351, Mar., 1981.

FREITAS, S.R.; SHIMABUKURO, Y.E. Diagnosticando florestas tropicais através do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.1671-1678.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L.E.; AGUIAR, A.V. de. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FLORAPLAC MDF. Disponível em: <http://www.floraplacmdf.com.br/book/>. Acesso em: 13 fev. 2013.

FLORES, F.J.; ALLEN, H.A.; CHESHIRE, H.M.; DAVIS, J.M.; FUENTES, M.; KELTING, D. Using multispectral satellite imagery to estimate leaf area and response to silvicultural treatments in loblolly pine stands. **Canadian Journal Forest Research**, Canada, v. 36, p. 1587–1596, 2006.

FLORES, B.Y. **Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la amazonía peruana**. Lima: INIA – INCAGRO, 2010. 64p.

FLYNN, R. Greenhouse gases and forest plantations. **Biomassa e Energia**, v. 1, n. 1, p.11-28, 2004. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/publicacoes.htm>. Acesso em: 01 out. 2012.

Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Marcelo Lacerda Vasquez, Lúcia Travassos da Rosa-Costa. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 23. p. (Serie Documentos, 209).

HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S.; RADIN, B.; BRAGA, H.; CAVIGLIONE, J.H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M.A.D.; GARRASTAZU, M.C.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, Y.M.M. de. **Zoneamento Climático: Pinus taeda no Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. (Serie Documentos, 175).

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, Madison: Warwick & York , v. 24, p. 417-441, 498-520, 1933.

IBAMA. **Plano de manejo florestal da Floresta Nacional dos Tapajós, Pará, Brasil**. Belém; Tapajós, Pará, Brasil, 2004. 580p.

IBGE. **Catálogos do Projeto Radam Brasil (1977)**. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/colecao_digital_publicacoes_multiplo.php?link=Projeto%20RADAMBRASIL&titulo=Projeto%20RADAMBRASIL>. Acesso em: 02 jan. 2013.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pa>>. Acesso em: 28 mar.2013.

IBGE. **Cartas temáticas de vegetação do Brasil**. 2008 Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/cartas-tematicas>>. Acesso em: 28 mar. 2013.

IBGE. **Mapa de geomorfologia do Estado do Pará**. Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/unidades_federacao/pa_geomorfologia.pdf>. Acesso em: 28 mar.2013.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: Sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 92p.

IDESP. **Estado do Pará: Divisões Territoriais Perspectivas Sociais, Econômicas, Financeiras e Ambientais**. IDESP. 2011. Disponível em: [http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/\(di\)VisoesTerritoriais/\(Di\)VisoesTerritoriais_OcupacaoUsoTerritorio.pdf](http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/(di)VisoesTerritoriais/(Di)VisoesTerritoriais_OcupacaoUsoTerritorio.pdf). Acesso em: 03 jan. 2012.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de manejo da reserva biológica nascentes da Serra do Cachimbo**. Brasília: ICMBio, 2009. 107p.

Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. INMET, 2009. 465p.

INTERMINISTERIAL, Grupo Executivo; DO PARÁ, Grupo Executivo do Estado. **PLANO DE DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL SUSTENTÁVEL DO ARQUIPÉLAGO DO MARAJÓ**. 2006. 74p.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e

Cecropia hololeuca “Embaúba” para produção de painéis Aglomerados. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, 2010. p. 303–308.

HUSSIN, Y.A.; BIJKER, W. Inventory of remote sensing applications in forestry for sustainable management. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 33, pt B7. Amsterdam, 2000. **Proceedings...** Amsterdam, 2000. p. 575-579.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. 2nd. Ann Arbor: Prentice Hall, 1996. 316p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestre**. Tradução de José Carlos Epiphany (Coord) .2.ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

JOLLIFFE, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial Data. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C**, London v. 21, n. 2, p. 160-173, 1972.

KANASHIRO, M.; YARED, J.A.G. Experiências com plantios florestais na Bacia Amazônica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL “O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS”, 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1991. p. 117-137.

KANNINEN, M. Plantation forests: global perspectives. In: _____ **Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests**. Center for International Forestry Research (CIFOR), 2010.

KOK, K.; VLIET, M.V.; BÄRLUND, I.; ANNA DUBEL, A.; SENDZIMIR, J. Combining participative backcasting and exploratory scenario development: Experiences from the SCENES project. **Technological Forecasting & Social Change**, Stony Brook, NY, v. 78, p.835–851, 2011.

LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. de; SILVA, M.R. da. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasília** Brasília, v. 46, n. 11, p. 1415-1423, nov. 2011.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, p. 159-174, mar. 1977.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. p. 321-337.

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.de **Colheita de Sementes e Produção de Mudas de Espécies Florestais Nativas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. (Serie Documentos, 374).

LELES, P.S dos S.; REIS, G.G. dos; REIS, M. das G.F.;MORAES, E.J. Relações Hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

- LI, Z.; FOX, J.M. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data. **Applied Geography**, Terre Haute, v. 32, p. 420-432, 2012.
- LIMA, R.M.B.; MARQUES, L.C.T.; OLIVEIRA, J.M.F.; KALIL FILHO, A.N.; AZEVEDO, C.P. de; GARCIA, L.C.; Teixeira, W.G. **Zoneamento edafo-climático para plantio de espécies florestais de rápido crescimento na Amazônia**. In: BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. (Org.). PPG-7 CeT Resultados (Fase Emergencial e Fase 1). Brasília: 1999. p. 310-331.
- LOBO, J.A.; QUESADA, M.; STONER, K.E.; FUCHS, E.J.; HERRERIAS-DIEGO, Y.; ROJAS, J.; SABORIO, G. Factors affecting phenological patterns of bombacaceous trees in seasonal forests in Costa Rica and Mexico. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 90, n. 7, p. 1054–1063, jul. 2003.
- LOPES, J.L.W.; SILVA, M.R. da; SAAD, J.C.C.; ANGÉLICO, T. dos S. Uso de hidrogel na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas com diferentes substratos e manejos hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 217-224, abr. / jun., 2010.
- LUNZ, A.M.; AZEVEDO, R. de; MOURÃO JÚNIOR, M.; MONTEIRO, O.M.; LECHINOSKI, A.; ZANETI, L.Z. Método para monitoramento de ninfas de cigarras e controle com inseticidas em reflorestamentos com paricá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 7, p. 631-637, jul. 2010.
- LUNZ, A.M.; BATISTA, T.F.C.; ROSARIO, V.doS.V.do; MONTEIRO, O.M.; MAHON, A.C. Ocorrência de *Pantophthalmus kerteszi* e *P. chuni* (Diptera: Pantophthalmidae) em paricá, no Estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30.n.61,p.71-74, jan./abr., 2010.
- LUNZ, A.M.; AZEVEDO, R de.; MOURÃO JÚNIOR, M.; MONTEIRO, O.M. **Recomendações para o Monitoramento de Cigarras [*Quesada gigas* (Olivier), Hemiptera:Cicadidae] em Reflorestamentos com Paricá [*Schizolobium parahyba* var.*amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby]**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. (Circular técnica, 46).
- GALEÃO, R.R.; CARVALHO, J.O.P. de; YARED, J.A.G.; MARQUES, L.C.T.; COSTA FILHO, P.P. Diagnóstico dos projetos de reposição florestal no Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 45, p. 101-120, jan. / jun. 2006.
- GB03. **Panorama da Biodiversidade Global 3**. Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas (MMA). Brasília: MMA, 2010. 94p.
- GOLLE, D.P.; REINIGERII, L.R.S.; CURT, A.R.; BEVILACQUAI, C.B. Melhoramento florestal: ênfase na aplicação da biotecnologia. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1606-1613, Ago. 2009.
- GEOSABER. **Aplicações de Geoprocessamento com SIG Abertos “Open Source GIS”**. Disponível em: <<http://geosaber.weebly.com/sig-gratuito.html>>. Acesso em: 09 mar. 2013.

GOMES, J.M.; CARVALHO, J.O.P.; SILVA, M.G. da; NOBRE, D.N.V.; TAFFAREL, M.; FERREIRA, J.E.R.; SANTOS, R.N.J. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 1, 2010. p. 171-178.

HALL, J.M.; HOLT, T.V.; DANIELS, A.E.; BALTHAZAR, V.; LAMBIN, E.F. Trade-offs between tree cover, carbon storage and floristic biodiversity in reforesting landscapes. **Landscape Ecology**, Arizona, v. 27, p. 1135-1147, 2012.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A.M. Inventários florestais na Amazônia. **Boletim do Serviço Florestal**, Rio de Janeiro, v. 6, p.1-100, 1963.

HODGE, A.; BERTA, G.; DOUSSAN, C.; MERCHAN F.; CRESPI, M. Plant root growth, architecture and function. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 321, n. 1/2, 2009. p. 153-187.

HOFFMANN, R.G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex.Ducke) na região de paragominas, PA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2009.

HOFFMANN, R.G.; SILVA, G.F.; CHICHORRO, J.F.; FERREIRA, R.L.C.; VESCOVI, L.B.; ZANETI, L.Z. Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** Recife, v.6, n.4, p.675-684, 2011.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2nd.ed. New York: The Ronald Press, 1972. 410p.

MACCAGNAN, D.H.B.; MARTINELLI, N.M. Descrição das Ninfas de Quesada gigas (Olivier) (Hemiptera: Cicadidae) Associadas ao Cafeeiro. **Neotropical Entomology**: Sociedade Entomológica do Brasil. Londrina: Paraná. v. 33. n.4 p.439-446, Ago. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ne/v33n4/21523.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2012.

MAGNANINI, A.; MAGNANINI, C. **Árvores gigantescas da terra e as maiores assinaladas no Brasil**. São Paulo: CNRBMA, 2002. (Série Ciência e Pesquisa, 2) 47p.

MAIRE, G.I.; MARSDEN, C.; VERHOEF, W.; PONZONI, F.J.; SEEN, D.I.; BEGUE, A.; STAPE, J.L.; NOUVELLON, Y. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of Eucalyptus plantations. **Remote Sensing of Environment**, Minneapolis, v. 115, p. 586-599, 2011.

MALERBA, J.; MILANEZ, B. Royalties de mineração atingem recorde, mas governo quer mais. **Revista Valor Econômico**. Agência para o desenvolvimento tecnológico da indústria mineral brasileira. 2013.

MANESCHY, R.Q.; SANTANA, A.C. de; VEIGA, J.B. de. Viabilidade econômica de sistemas silvipastoris com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e *Tectona grandis* no Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 49-56, dez. 2009.

MARCIAL, E.C.; COSTA, A.J.L. O uso de cenários prospectivos na estratégia empresarial:vidência especulativa ou Inteligência Competitiva? In: ENCONTRO DA ANPAD, 25., 2001.Campinas, **Anais...** Campinas, 2001. 16p.

MARIEN, M. People and Connections: Global Scenarios to 2020.In: **Future Survey**, 24, May 2002.

MARQUES, L.C.T. **Comportamento inicial de paricá, tata juba e eucalipto, em plantio consorciado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará.** 1990. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1990.

MARQUES, L.C.T.; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. **A Evolução do Conhecimento sobre o Paricá para Reflorestamento no Estado do Pará.** Belém: Embrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico, 158).

MARGONO, B.A.; TURUBANOVA, S.T.; ZHURAVLEVA, I.; POTAPOV, P.; TYUKAVINA, A.; BACCINI, A.; GOETZ, S.; HANSEN, M.C. Mapping and monitoring deforestation and forest degradation in Sumatra (Indonesia) using Landsat time series data sets from 1990 to 2010. **Environmental Research Letters**, Berkeley, v. 7, 16 p. 2012.

MARTORANO, L.G.; PERREIRA, L.C.; CÉSAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite Mather).** Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 1993.

MARTORANO, L.G.; ANGELOCCI, L.R.; VETTORAZZI, C.A.V.; VALENTE, R.deO.A. **Zoneamento agroecológico para a região de Ribeirão Preto utilizando um sistema de informações geográficas.** **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.3, p. 739-747 jul.,1999.

MARTORANO, L.G.; BRIENZA JUNIOR, S.; MONTEIRO, D.C. A.; LISBOA, L.S.; CÂNCIO, O.N.; MARTORANO, P.G.; ESPIRITO SANTO, J.M. do. Condições topobioclimáticas associadas à ocorrência de Taxi-branco (*Sclerolobium panuculatum* 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, Terezina, 2010.**Anais...** Terezina, 2010. 4p.

MARTORANO, L.G.; MONTEIRO, D.C.A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.; ESPÍRITO SANTO, J.M.; ALMEIDA, R.F. **Top-bioclimate conditions associated to natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil.** In: VILLACAMPA, Y; BREBBIA, C. A. ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 8., Ashurst Lodge: Wittpress, 2011. p.111-122.

MARTINELLI, N.M. **Espécies de cigarras (Homoptera-Cicadidae) associadas ao cafeeiro.** 1985. 66p. Tese (Doutorado em ciências), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

MATOS, G.SB. de; SILVA, G.R.da; GAMA, M.A.P., VALE, R.S.do; JONAS ELIAS CASTRO DA ROCHA, J.E.C.da R. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amazônica, Manaus**, v.42 n.4, p. 491-500, 2012.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de Imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012. 276p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Florestas Plantadas**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/florestas-plantadas>>. Acesso em: 29 out. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lista de municípios prioritários da Amazônia**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/controle-e-preven%C3%A7%C3%A3o-do-desmatamento/plano-de-a%C3%A7%C3%A3o-para-amaz%C3%B4nia-ppcdam/lista-de-munic%C3%ADpios-priorit%C3%A1rios-da-amaz%C3%B4nia>>. Acesso em: 06 nov. 2012

MIRANDA, C. do C.; COUTO, W.H. do; VALCARCEL, R.V.; FREITAS, A.F.N. de; FRANCELINO, M.R. Avaliação das preferências ecológicas de *Clidemia urceolata* DC. em ecossistemas perturbado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 5, set./out.p. 1135-1144, 2011.

MONTEIRO, D.C.A.; MARTORANO, L.G.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.; FERREIRA, M. do S. G.; MARTORANO, P.G. Condições Topobioclimáticas preferenciais para plantios energéticos de Taxi-Branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) na Amazônia Oriental Brasileira. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 62., 2010, Natal. **Anais...** Natal, 2010. p.1-5.

MONTEIRO, D.C.A.; MARTORANO, L.G.; VETTORAZZI, C.A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.; SANTA BRÍGIDA, M.B. Variáveis dendrométricas e climáticas avaliadas para subsidiar estratégias de manejo silvicultural em plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) no município de Dom Eliseu, Pará. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA INTERDISCIPLINAR DA AMAZÔNIA LEGAL: Diálogos Interdisciplinares em Busca da Integração Regional, 1, **Anais...** Belém, 2011.

MONTEIRO, D.C.A.; VETTORAZZI, C.A.; LUCIETA G. MARTORANO, L.G.; DIAS, C.T.S.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L.S.S.; MONTEIRO, L.D.A.; MELLO, M.N.; BIASE, A.G. Dinâmica espectro-temporal modis em plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) associada a diferentes condições hídricas do solo na amazônia brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18, 2013. Belém, **Anais...** Belém, 2013. p.1-5.

MONTEIRO, L.D.A.; MOTA, M.A.S.da Análise da variação da temperatura e precipitação em Belém em anos de El Niño e La Niña. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA: AMAZÔNIA E O CLIMA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE METOROLOGIA (SBMET). Belém: 2010. **Anais...** Belém: 2010. 1-5p.

MORAES, B.C. de; COSTA, J.M.N. da; COSTA, A.C.L. da; COSTA, M.H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 2, abr. / jun. 2005. p 207–214.

NASCIMENTO, P.S. de R.; PETTA, R.A. Análise das similaridades das cartas de vulnerabilidade à erosão realizadas por dois operadores zonais de álgebras de mapas. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 2, abr. / jun., p.135-140, 2008.

NEW, M.; LISTER, D.; HULME, M.; MAKIN, I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. **Climate Research**. Germany, v. 21, p. 1–25, 2002.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blücher, 1992. 308p.

NUNES, L.H. A Escala nas ciências atmosféricas. *Revista Instituto Geológico*. São Paulo, v.19, n.1/2, p. 71-73, Jan/dez/1998.

O' BRIEN, M.J.P.; O' BRIEN C. M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém: FCAP, 1995. 400p.

OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T.de; CAETANO, N.R. Zoneamento geoambiental da região do alto-médio rio paraíba do sul e a carta de aptidão física para a implantação e obras viárias. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p.173-182, 2003.

OHASHI, S.T. **Variabilidade genética e fenotípica entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby visando seleção de materiais genéticos para sistemas agroflorestais**. 2005. 106p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.

OHASHI, S.T. **Variabilidade genética e fenotípica entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby visando seleção de materiais genéticos para sistemas agroflorestais**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) UFRA, Belém, 2005. 107p.

OHASHI, S.T; YARED, J.A.G.; FARIAS NETO, J.T. de F. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares – Pará. **Revista Acta Amazônica, Manaus**, v. 40, n. 1, p. 81–88, 2010.

OLIVEIRA, L.F.C. de; ANTONINI, J.C. dos A.; FIOREZE, A.P.; SILVA, M.A.S. da. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 620–625, 2008.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981.p.129-132.

ORTIZ, J.L.; VETTORAZZI, C.A.; COUTO, H.T.Z.;GONÇALVES, J.L. DE M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 67-79, dez. 2006.

WMO. **Guindace to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, 5th ed., Geneva Switzerland, 1983. 681p. (World Meteorological Organization, 8).

PARÁ. Instrução Normativa n. 15/2011 de 07 de novembro de 2011. Institui o modelo da Declaração de Corte e Colheita – DCC e estabelece os procedimentos administrativos para a colheita, transporte e industrialização dos produtos oriundos de florestas plantadas no Estado do Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará.

PARÁ. Decreto estadual n. 216/2011 de 22 de novembro de 2011. Dispõe sobre a Reserva Legal em regime de condomínio dos imóveis rurais situados no Estado do Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará.

PARÁ. Decreto estadual. Dispõe sobre a manutenção, recomposição, condução da regeneração natural, compensação e composição da área de Reserva Legal de imóveis rurais no Estado do Pará e dá outras providências. Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará.

PARISE, F. de O.; VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras hamlin: I. Relações com a resposta espectral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 43-47, 2005.

PAMPLONA, W.A.G.; CARDENAS, D.; MONTOYA, A.J.D. Alometria e crescimento de seis espécies de árvores num bosque de terra firme na floresta amazônica colombiana. **Colombia Forestal**. Bogotá, v.14, n.1, p. 9-21, 2011.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológica do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 168p.

PAULA, E.M.S. de; SOUZA, M.J.N. de. Sistemas de informações geográficas na análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Ceará-CE. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 63/04, 2011.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Philadelphia, v. 2, n. 11, p. 559-572, 1901.

PEREIRA JR, A. **Fertilidade e Fauna edáfica em solo sobre reflorestamento com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) no município de Aurora do Pará**. 2011. Dissertação (Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, E. **A arte Rupestre de Monte Alegre**. Pará. Amazônia. Brasil. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2012. 212p.

PILLAR, V.D. **Clima e vegetação**. 1995. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/ecoqua/publication.html>>. Acesso em: 02 mar. 2013

PINAGÉ, E.R.; GENOVEZ, P.C.; OSAKO, L.S.; SANTOS, A.H.H.dos; RIBEIRO, R.C.; NEVES, R.V. **Análise multi-temporal do antropismo na Floresta Nacional do Crepori (PA) a partir de imagens LANDSAT 5 TM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 6341-6348.

PINTO, L.R.M.; SANCHES, C.L.G.; DIAS, C.T.dos S.; LOGUERCIO, L.L. Advantages of multivariate analysis of profiles for studies with temporal variation of treatment effects in plants. **International Journal of Plant Sciences**. Chicago, v. 174, n.1, p.85–96, 2013.

POKHAREL, B.; DECH, J.P. Mixed-effects basal area increment models for tree species in the boreal forest of Ontario, Canada, using an ecological land classification approach to incorporate site effects. **Forestry**, Ontario, v.85, n.2, p 255–270, 2012.

PRODES. **Taxas de desmatamento da Amazônia Legal**. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. INPE. 2013. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 06 mai. 2012.

RAMALHO FILHO, A; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994. 65p.

REESE, H. **Classification of Sweden's Forest and Alpine Vegetation Using Optical Satellite and Inventory Data**. 2011. 76p. Doctoral Thesis (Forest Sciences) – Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, 2011.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATTOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 701-709, 2005.

REIS, C.A.F; PALUDZYSZYN FILHO, E. Estado da arte de plantios com espécies florestais de interesse para o Mato Grosso. **Embrapa Florestas**. (2011). (Documentos, 215)

REGAZZI, A.J. **Análise Multivariada**. Universidade Federal de Viçosa, 2002.166p.

RIBEIRO, I.O. Zoneamentos edafoclimáticos de *Hevea brasiliensis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Schizolobium amazonicum*, utilizando análise multicritério. 2011.66p.Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

RIBEIRO, C.A.D.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEZZOPANE, J.E.M.; LOOS, R.A.; XAVIER, A.C.; CECÍLIO, R.A.; NEVES, M.A. Delimitação de microrregiões agroclimáticas e suas relações com o potencial produtivo da cultura do Eucalipto. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 779-786, out./dez. 2011.

RODRIGUES, R.C.daS.; MATTA, M.A.daS.; CRAVEIRO, G.S. Geometria e cinemática da deformação ruptural envolvida com a geração da estrutura dômica de monte alegre (PA) como subsídio para acumulação de hidrocarbonetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS,4., 2007. Campinas, SP, **Anais...** Campinas, 2007.

ROLIM, S.G.; COUTO, H.T.Z.; JESUS, R.M.; FRANÇA, J. Modelos volumétricos para Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônia**, Manaus, v. 36, n.1,p. 107-114, 2006.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. **Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite e Mather (1955)**. Piracicaba: ESALQ, 1999. CD-ROM.

RONDON, E.V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de (*Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

ROSA, L. dos S. Ecologia e silvicultura do Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na Amazônia Brasileira. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 45, p. 135-174, jan./jun. 2006.

ROSA, L. dos S. VIEIRA, T.A.; SANTOS, D.S.; SILVA, L.C.da Emergência, crescimento e padrão de qualidade de mudas de *schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) sob diferentes níveis de sombreamento e profundidades de semeadura. . **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 52, p. 87-98, jul./dez. 2009.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A. DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: ETRS SYMPOSIUM, 3, 1973, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C.: NASA SP- 351, 1973. p. 309-317.

RUIVO, M. de L.P.; OLIVEIRA, M. de L.S.; CORDEIRO, I.M.C.C.; MONTEIRO, K.P.M.; KERN, D.C.; AMARANTE, C.B. do. **Evaluation of growth of paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber (Duck)) in different agroforestry systems in northeast of Pará, Brazil**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane, Australia. **Anais...** Brisbane: WCSS, 2010. 1 DVD-ROM.

SABOGAL, C.; ALMEIDA, E.; MARMILLOD, D.; CARVALHO, J.O. **Silvicultura na Amazônia brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas**. Belém: CIFOR, 2006. 190p.

SALOMÃO, R.P.; VIEIRA, I.C.G.; SUEMITSU, C.; ROSA, N.A.S.; ALMEIDA, S.S.; AMARAL, D.D.; MENEZES, M.P.M. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v.2.,n.3), p.57-153., 2007.

SAMET, H. Draft summary of Geographic Information Systems and Cartographic Modeling by C. Dana Tomlin, Englewood-Cliffs: Prentice-Hall, 1990. University of Maryland, 1996.

SANO, E.E.; BEZERRA, H.da S.; BARCELOS, A.deO.; ROSA, R. **Metodologias para mapeamento de pastagens degradadas no Cerrado**. Planaltina: DF Embrapa Cerrados, 2002. (Boletim de pesquisa)

SANTOS, H.G. dos; CARVALHO JÚNIOR, W. de; DART, R. de O.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUSA, J.S. de; PARES, J.G.; FONTANA, A.; MARTINS, A.L. da S.; OLIVEIRA, A.P. de. **O Novo Mapa de Solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67p. (Documentos, 130).

SANTOS, A.F. do; AUER, C.G.; GRIGOLETTI, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. (Circular técnica, 45).

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit Hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SAS Institute. **SAS statistical software: Release 9.2**, Cary, NC: SAS Institute, 2008.

SEMMA. **Cadastro Ambiental Rural – Car e diagnóstico ambiental nos municípios de Ulianópolis e Dom Eliseu – Estado do Pará.** 2012. 86p. PNUD. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Dom Eliseu, 2012.

SENTELHAS, P.R.; PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. **Meteorologia agrícola.** Piracicaba: ESALQ, 1998. 131p.

SETTE JUNIOR, C. R; TOMAZELLO FILHO, M; DIAS, C. T.S; LACLAU, J.P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* w. hill. ex. maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.6, p.979-990, 2010.

SCHULZE, MARK. Technical and financial analysis of enrichment planting in logging gaps as a potential component of forest management in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v. 255, p. 866–879, mar. 2008.

SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, v. 3, n.1, p.21-34, 1993.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal 4:** classificação de sítios florestais. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138p.

SFB. **Guia de financiamento florestal.** Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2013. 54p.

SHIRABE, T. Prescriptive modeling with map algebra for multi-zone allocation with size constraints. **Computers, Environment and Urban Systems**. Filadelfia, v. 36, p. 456–469. 2012.

SILVA, J.N.M. **Metodologia utilizada na construção de tabelas de volume.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1988. 21p. (Serie Documentos 50).

SILVA, J. dos S.V. da; SANTOS, R.F. dos S. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 221-263, maio/ago. 2004.

SILVA JÚNIOR, A.T.da S. **Equação de volume e fator de forma para árvores de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (PARICÁ) no município de Aurora do Pará.** 2009. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia - UFPA, 2009.

SILVA, E.N.da; SANTANA, A.C.de; QUEIROZ, W.T.de.; ROSANGELA DE JESUS SOUSA, deJ. Estimação de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, Estado do Pará. **Revista Amazônia Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 7, n. 13, jul./dez. 2011.

SILVA, A.K.L.; VASCONCELOS, S.S; CARVALHO, C.J.R de; CORDEIRO, I.M.C.C. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 347, n. 1/2, p. 377-386, out. 2011.

SILVA, T.S. da; ROSA, M.L.; FARINA, F. GIS Applied to Integrated Coastal Zone and Ocean Management: Mapping, Change Detection and Spatial Modeling for Coastal Management in Southern Brazil. In: ALAM, B.M. **Application of Geographic Information Systems**. Rijeka: INTEC, 2012. cap. 12, p. 219-240.

SILVA, G.F. DA; OLIVEIRA, O.M.de; CARLOS SOUZA, C.A.M.de; SOARES, C.P.B.; LEMOS, R.L. Influência de diferentes fontes de erro sobre as medições de alturas de árvores. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 397-405. Sept. 2012.

SILVEIRA, H.L.F. da; VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R. de O.A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do rio Corumbataí, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 259-268, 2008.

SILVÉRIO, D.V.; LENZA, E. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 205-216 jul./set. 2010.

SIVIERO, M.A.; MOTTA, A.M.; LIMA, D. dos S.; BIROLI, R.R.; HUH, S.Y.; SANTINONI, I.A.; MURATE, L.S.; CASTRO, C.M.A. de; MIYAUCHI, M.Y.H.; ZANGARO, W.; NOGUEIRA, M.A.; ANDRADE, G. Interaction among N-fixing bacteria and AM fungi in Amazonian legume tree (*Schizolobium amazonicum*) in field conditions. **Applied Soil Ecology**, Stillwater, v.39, p.144-152, 2008.

SIMÕES, D.; FENNER, P.T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 107-114, mar. 2010.

SODRÉ, G.R.C.; VITORINO, M.I. Análise observacional de sistemas convectivos de mesoescala associados a extremos climáticos na Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., Foz do Iguaçu, 2013 **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013.

SOUSA, S.G.A de; WANDELLI, E.V.; PERIN, R.; MATOS, J.C. de S.; PEREIRA, L.A. Crescimento de paricá (*Schizolobium amazonicum* Ducke) em sistemas agrossilvipastoris implantados em pastagens degradadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. p. 114-116.

SOUSA, C.L.; PONZONI, F.J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas Tm/landsat para estimativa de volume de Madeira em floresta implantada de *Pinus spp.* In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 1998. p. 1537-1547.

SOUSA, D.B.de; CARVALHO, G.S.; RAMOS, E.J.A. Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia. Nº 13, 2005. Disponível: <http://leonet.com/sementesrsa/sementes/pdf/doc13.pdf>. Acesso: 06/11/2012.

SOUSA, V.G **Comportamento Silvicultural e dinâmica de serapilheira em plantios de duas espécies florestais da Amazônia Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). - Universidade Federal Pará/Belém, 2011.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da planície costeira bragantina, nordeste do Pará, Brasil. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v.4 n. 2, p.1-16.,1996.

SOUZA, C.R de; ROSSI, L.M.B; AZEVEDO, C.P de; VIERA, A.H. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var . *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby**. Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 12p. (Circular Técnica, 18).

SOUZA, C.R. de; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P. de; LIMA, R.M.B. de. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E.urophyla* em plantio experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 95-101, jun.2004.

SOUZA, M.J.H.de; RIBEIRO, A.R.; LEITE, H.G.; FERNANDO PALHA LEITEI, F.P.L.; MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, maio/jun.p. 399-410 2006.

SOUZA, C.R. de; LIMA, R.M.B.; AZEVEDO, C.P. de; ROSSI, L.M. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 7-14, mar. 2008.

SOARES, V.P.; ZANETI, L.Z.; SANTOS, N.T.; LEITE, H.G. Análise espacial da distribuição de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu, PA. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 251-258, 2008.

STABILE, M.C.C.; AZEVEDO, A.; NEPSTAD, D. **O programa “Agricultura de baixo carbono” do Brasil: barreiras para sua implementação**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2012.

STEARNS, T. M.; BEEVER, J.E.; SOUTHEY, B.R.; ELLIS, M.; MCKEITH, F.K.; RODRIGUEZ-ZAS, S.L. Evaluation of approaches to detect quantitative trait loci for growth, carcass, and meat quality on swine chromosomes 2, 6, 13, and 18. II. Multivariate and principal component analysis. **Journal of Animal Science.**, Savoy, v. 83, p. 2471-2481, 2005.

SPERANDIO, H.V.; CAMPANHARO, W.A.C.; CECÍLIO, R.A.; NAPPO, M.E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no estado do Espírito Santo. **Revista caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 203 - 216, 2010.

TERRA CLASS. **Dados municipais do levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia**. Terra Class, 2008. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2011.

THIERSCH, C.R.; ANDRADE, M.G.de; MOREIRA, F.B.M; LOIBEL, S. Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus sp.* com o modelo de curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 37, n. 1, Feb, p. 01-08.2013 .

TREMACOLDI, C. R.; LUNZ, A. M.; COSTA, F. R. S. Cancro doparicá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) no Estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 59, p. 69-73, 2009.

TOMLIN, C.D. **Geographic Information Systems and cartographic modelling**. New Jersey: Prentice-hall, Englewood Cliffs. p.361-374, 1990.

TOMLIN, C.D. Map algebra: One perspective. **Landscape and Urban Planning**, Philadelphia, v. 30, p. 3-12, 1994.

TONINI, H.; PEREIRA, M.R.N.; ARCO-VERDE, M.F.A.; OLIVEIRA JR., M.M. de **Seleção de Equações para o Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), no Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 4).

TONINI, H.; COSTA, M.C.G.; SCWENGBER, L.A.M. **Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional**. Pesquisa Florestal Brasileira: Brazilian Journal of Forestry Research. n.59, 2009.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance. Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

UGARTE-GUERRA J.; ALEMAN, F. **Estudio de las cadenas de abastecimiento de germoplasma forestal en La Amazonia Boliviana**. Lima: World Agroforestry Centre, 2010. (ICRAF working paper 112).

YAMADA, E.S.M. **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura do Brasil visando à produção de biodiesel**. 2011. 131p. Dissertação (Mestrado em Física do ambiente agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo-SP, Piracicaba, 2011.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. **Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP**. IPEF, 2003. 10 p. (Circular técnica 196).

VALVERDE, S.R; MAFRA, J.W.A.; MIRANDA, M.A. da; SOUZA, C.S.; VASCONCELOS, D.C. **Silvicultura brasileira - oportunidades e desafios da economia verde**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2011. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-549.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

VASQUEZ, M.L.; SOUZA, C.S.; CARVALHO, J.M.A. (Orgs.). **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará**. 2008. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais. CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Belém.

VENTURIERI, G.C. **Biologia reprodutiva do táxi-branco (*Sclerolobium paniculaum* var. *paniculatum* Vogel) e do Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) Leg: Caesalpinioideae e a influência da Melitofilia na polinização dessas árvores amazônicas**. 2000. 89p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

VERÍSSIMO, A.; ROLLA, A.; MAIOR, A.P.C.S.; MONTEIRO, A.; BRITO, B.; SOUZA JR, C.; AUGUSTO, C.C.; CARDOSO, D.; CONRADO, D.; ARAÚJO, E.; RICARDO, F.; RIBEIRO, J.; LIMA, L.M.de; RIBEIRO, M.B.; VEDOVETO, M.; MESQUITA, M.; BARRETO, P.G.; SALOMÃO, R.; FUTADA, S. de M. **Áreas protegidas na Amazônia brasileira: Avanços e desafios**. Belém: IMAZON; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011. 90p.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Colorado, v.55, p. 169-199, 1992.

VETTORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F. de B. **Silvicultura de Precisão: Uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais**. In: Agricultura de precisão. Universidade Federal de Viçosa, MG, 2000. p. 65-75.

VETTORAZZI, C.A. Técnicas de geoprocessamento no monitoramento de áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.45 – 51, nov.1996.

VIDAURRE, G.B **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e poupa celulósica**. 2010. 74p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa- UFV, Minas Gerais, 2010.

VIDAURRE, G.B; CARNEIRO, A. de C.O.C.; VITAL, B.R.; SANTOS, R.C. dos; VALLE, M.L.A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, mar./abr. p. 365-371, 2012.

VLIET, M.V.; KOK, K. Combining backcasting and exploratory scenarios to develop robust water strategies in face of uncertain futures. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**. Washington, p. 1-32, 2013.

YARED, J.A.G. **Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no Planalto do Tapajós – Pará**. Belém: Embrapa, 1988. 29p. (Documentos, 49).

ZAMBELLI, P.; LORA, C.; SPINELLI, R.; TATTONI, C.; VITTI, A.; ZATELLI, P.; CIOLLI, M. A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. **Environmental Modelling e Software**, Canberra, v. 38, p. 203-213, dez. 2012.

ZANUNCIO, J.C.; PEREIRA, F.F.; ZANUNCIO, T.V.; MARTINELLI, N.M.; PINON, T.B.M.; GUIMARÃES, E.M. Occurrence of Quesada gigan Schizolobium amazonicum trees in Maranhão and Pará States, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 943-945, set. 2004.

ZIELLO, C.; ESTRELLA, N.; KOSTOVA, M.; KOCH, E.; MENZEL, A. Influence of altitude on phenology of selected plant species in the Alpine region (1971–2000). **Review Climate Research**, Wien, v. 39, n. 3, p. 227–234, 2009.