

ANÁLISE GEOESPACIAL DA DINÂMICA DO PLANTIO DE EUCALIPTO PARA FINS ENERGÉTICOS, NO NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS

GEOSPATIAL ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF EUCALYPTUS PLANTING FOR ENERGY PURPOSES IN THE NORTH OF STATE OF TOCANTINS

ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA DINÁMICA DE LA PLANTACIÓN DE EUCALIPTO CON FINES ENERGÉTICOS EM EL NORTE DEL ESTADO DE TOCANTINS

Flávia Oliveira dos Santos Lustosa:

Mestre em Agroenergia - UFT, Superintendência da Defesa Civil Municipal de Palmas, TO, Brasil.
E-mail: flaviaengambiental@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8695-2595>.

Eduardo Quirino Pereira:

Professor Assistente, Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia, Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas, TO, Brasil.
E-mail: eduquirino@uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-4647-5108>.

Erich Collicchio:

Professor Associado III do curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas, TO, Brasil.
E-mail: ecollicchio@uft.edu.br. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3452-6249>.

Artigo recebido em janeiro de 2024 aceito em setembro de 2024 publicado em outubro de 2024

Como citar este artigo:

LUSTOSA, F. O. dos S.; PEREIRA, E. Q.; COLLICCHIO, E. Análise geoespacial da dinâmica do plantio de eucalipto para fins energéticos, no norte do estado do Tocantins. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1 - 28, out. 2024. DOI: https://doi.org/10.20873/Agroenergia_2024_v11_n7_10

RESUMO

No Estado do Tocantins desde 2007, houve uma intensificação da silvicultura, em especial o eucalipto, com observância à região do Bico do Papagaio, para fins de produção carvão vegetal como biorredutor renovável, insumo do setor siderúrgico. Este estudo teve como objetivo analisar a dinâmica das áreas de cultivo de eucalipto, na região do Bico do Papagaio, nos anos de 2006 e 2019, por meio de técnicas de geoprocessamento. Foram realizadas a análise de aspectos físicos, estratégicos e potencialidades para a produção de eucalipto na região. Observou-se uma dinâmica de crescimento significativa da cultura, de 2006 e 2019, especialmente nos municípios de São Bento e Araguatins. Constatou-se o predomínio do relevo suave, o que favorece à mecanização da cultura. Observou-se uma maior predominância de Neossolos Quartzarênicos nas áreas com produção de eucalipto, o que exige um manejo adequado da cultura, devido à sua baixa fertilidade natural, aliada à deficiência hídrica. Há o predomínio da classe de aptidão climática “marginal”, possibilitando seu desenvolvimento, porém deve-se considerar o uso de técnicas e manejos adequados a cada realidade local. A região apresenta logística de transporte e localização estratégica favorável devido à proximidade dos polos siderúrgicos, para atender as demandas de carvão vegetal.

Palavras-chave: Eucalyptus, Carvão vegetal, Geotecnologia

ABSTRACT

In the State of Tocantins since 2007, there has been an intensification of forestry, especially eucalyptus, with due regard to the Bico do Papagaio region, for the production of charcoal as a renewable bio-reducer, an input for the steel industry. This study aimed to analyze the dynamics of eucalyptus cultivation areas, in the Bico do Papagaio region, in the years 2006 and 2019, using geoprocessing techniques. The analysis of physical and strategic aspects and potentialities for the production of eucalyptus in the region were carried out. There was a significant growth dynamic of the crop, from 2006 to 2019, especially in the municipalities of São Bento and Araguatins. There was a predominance of smooth relief, which favors the mechanization of the crop. There was a greater predominance of Quartzarenic Neosols in areas with eucalyptus production, which requires proper management of the culture, due to its low natural fertility, combined with water deficiency. There is a predominance of the “marginal” climatic aptitude class, enabling its development, but the use of techniques and management appropriate to each local reality must be considered. The region has favorable transport logistics and strategic location due to the proximity of the steel poles, to meet the demand for charcoal.

Keywords: Eucalyptus, Charcoal, Geotechnology

RESUMEN

En el Estado de Tocantins, desde 2007, hay una intensificación de la silvicultura, especialmente de eucalipto, con la debida atención a la región de Bico do Papagaio, para la producción de carbón vegetal como biorredutor renovable, insumo para la industria siderúrgica. Este estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica de las áreas de cultivo de eucalipto, en la región de Bico do Papagaio, en los años 2006 y 2019, utilizando técnicas de geoprocresamiento. Se realizó el análisis de aspectos físicos y estratégicos y potencialidades para la producción de eucalipto en la región. Hubo una dinámica de crecimiento importante del cultivo, de 2006 a 2019, especialmente en los municipios de São Bento y Araguatins. Predominó el relieve suave, lo que favorece la mecanización del cultivo. Hubo un mayor predominio de Neosoles Cuarzoarênicos en áreas con producción de eucalipto, lo que requiere un manejo adecuado del cultivo, debido a su baja fertilidad natural, combinado con deficiencia hídrica. Hay un predominio de la clase de aptitud climática “marginal”, que posibilita su desarrollo, pero se debe considerar el uso de técnicas y manejos adecuados a cada realidad local. La región cuenta con logística de transporte favorable y ubicación estratégica por la cercanía de los postes siderúrgicos, para atender la demanda de carbón vegetal.

Descriptores: Eucalyptus, Carbón vegetal, Geotecnología

INTRODUÇÃO

A floresta plantada representa diversos produtos e subprodutos presentes na sociedade como celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, carvão vegetal e biomassa, bem como oferece diversos serviços ambientais como a regulação dos ciclos hidrológicos, o controle da erosão e da qualidade do solo, a conservação da biodiversidade, a provisão de oxigênio para o planeta e a contribuição no tocante à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (HORA, 2015).

De acordo com o IBÁ (2022), mais de 6 milhões de hectares de florestas plantadas estão sendo utilizados para conservação, por meio da técnica denominada de mosaico florestal, onde são intercaladas áreas de cultivos comerciais com conservação, auxiliando na regulação da água e proteção da biodiversidade. Em 2021, a floresta plantada no país atingiu 9,93 milhões de hectares, sendo que o crescimento do setor florestal ocorre, normalmente, em terras anteriormente degradadas.

Destaca-se que em 2021, o valor adicionado da cadeia produtiva florestal cresceu 7,5%, atingindo a receita bruta de R\$ 244,6 bilhões. Nesse mesmo ano, o saldo da balança comercial do setor foi de US\$ 10,7 bilhões, promovendo um crescimento de 20% em relação à 2020. Além disso, o setor fechou o ano com 553 mil postos de trabalho diretos e 1,59 milhão indiretos (IBÁ, 2022).

Do total de floresta plantada no Brasil em 2021, 7,53 milhões de hectares foram destinadas ao cultivo do eucalipto, correspondendo a cerca de 75% de todas as espécies florestais plantadas, e que a produtividade do eucalipto chegando a 38,9 m³/ha/ano (IBÁ, 2022).

O eucalipto uma espécie florestal relevante para o país, contribuindo com a geração de emprego e renda no meio rural e urbano, com participação expressiva na balança comercial, em decorrência dos seus principais produtos: celulose e o papel, destinados ao mercado internacional (MOREIRA, SIMIONI e OLIVEIRA, 2017).

De acordo com Brasil (2015), o uso comercial de eucaliptos teve início do século XX com a implantação de florestas plantadas no território nacional, sendo que os grandes avanços com demandas em larga escala tiveram início a partir de 1949. Destaque para a atuação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira e seu principal produto, eucalipto.

Desde então, o Brasil tem desenvolvido pesquisas de melhoramento genético para produção de clones que possam atender às condições de clima e variações dos tipos de solos existentes no país, tudo isso com o intuito de aumentar a produtividade florestal (FOELKEL, 2005).

Assim o primeiro segmento a se destacar é o de celulose e papel, com um total de área de floresta plantada de 7,83 milhões de hectares em 2018, 0,1% a menos comparado ao ano anterior. O segundo em evidência, são os proprietários independentes e pequenos e médios produtores do programa de fomento florestal, com 28% do total de florestas plantadas no país e investimentos em plantios florestais destinados à comercialização de madeira *in natura*. Na terceira posição está o segmento de siderurgia a carvão vegetal que representa 12% das áreas plantadas, visando suprir as siderúrgicas na produção de aço a partir do carvão vegetal com 4,5 milhões de toneladas (IBÁ, 2019).

O setor brasileiro produtor de ferro-gusa tem alta demanda de carvão vegetal que é utilizado como agente redutor na fabricação do ferro-gusa e como fonte de energia (MOTA, 2013). O consumo de carvão vegetal observado em 2021, foi de 8,51 milhões de toneladas, sendo o consumo de carvão vegetal no setor da Siderurgia Ferro-gusa e Aço chegou a 4,25 milhões de toneladas, e o consumo do produto de fonte renovável atingiu 4,01 milhões de toneladas (IBÁ, 2022).

As indústrias siderúrgicas enfrentam inúmeros problemas relacionados à heterogeneidade do carvão vegetal em decorrência das variações nas características do produto ligadas às condições do processo de carbonização e às características da madeira utilizada, como a espécie, as características químicas e a idade. Este fator força as indústrias a investirem em floresta plantadas, garantindo que a matéria prima para a produção de carvão vegetal esteja dentro dos padrões necessários para um aço de qualidade (FIGUEIREDO et al., 2018).

O setor de silvicultura tem investido no Estado do Tocantins desde 2007 e tem como principais espécies plantadas: eucalipto (*Eucalyptus* spp), a teca (*Tectona grandis*) e o guanandi (*Callophyllum brasiliense*), com destaque para o plantio de eucalipto em proporção de área plantada (EMBRAPA, 2014). O Estado do Tocantins em 2021, apresentava uma área total de aproximadamente 101.669 mil ha de eucalipto (IBÁ, 2022). Dados apontam que a produção de carvão vegetal foi de 6.316 toneladas em 2018, sendo 119 toneladas produzidas na Região do Bico do Papagaio (IBGE, 2019).

Com relação à capacidade instalada do complexo siderúrgico do Pará e Maranhão atual e potencial, estima-se um total de 1,9 milhões de toneladas/ano de produção de aço ou ferro gusa, e que para isso, necessitará de carvão vegetal e

consequentemente, áreas de produção de eucalipto. Destaca-se ainda que grande parte das siderúrgicas não são autossuficientes na produção de carvão vegetal (DUARTE, 2020).

Sob a influência de plantas industriais em operação nos estados do Pará e do Maranhão, e de uma possível retomada do crescimento do mercado do aço, existe a perspectiva de ampliação e fortalecimento dos plantios na região do complexo siderúrgico, inclusive no estado do Tocantins, e especialmente na Região do Bico do Papagaio (DUARTE; COLLICCHIO, 2020).

No tocante à produção comercial de eucalipto na Região do Bico do Papagaio visando a produção de carvão vegetal, torna-se importante conhecer e analisar os aspectos físicos regionais, bem como identificar as potencialidades da região como: relevo, declividade, solos, aptidão agroclimática e logística, pois podem influenciar no desenvolvimento da cultura, na produtividade e no escoamento dos produtos.

Como possibilidade eficaz para realizar uma análise aspectos físicos e ambientais (caracterização física espacial) e ter entendimento da dinâmica florestal de uma região, tem-se as geotecnologias que auxiliam o analista na averiguação, tomada de decisão, bem como planejamento e gestão do espaço geográfico (FITZ, 2008; TEIXEIRA; GALVÍNCIO, 2010; CABRAL, 2017).

Nesse contexto o presente estudo teve como objetivo de analisar a dinâmica das áreas de cultivo de eucalipto, na região do Bico do Papagaio no Estado do Tocantins, no período de 2006 a 2019, utilizando imagens de satélite e geotecnologias, bem como realizar uma análise dos aspectos físicos, estratégicos e potencialidades para a produção de eucalipto na região.

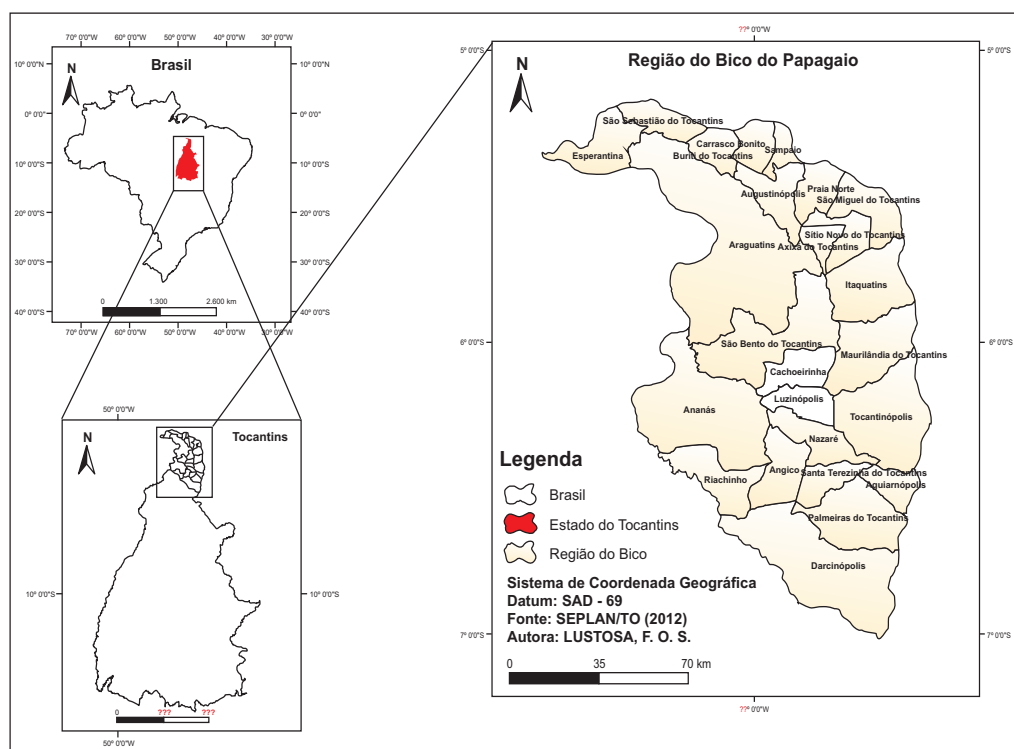
MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no extremo norte do Estado do Tocantins, cuja região é conhecida como Bico do Papagaio (Figura 1). Nesta região estão localizados 25 municípios sendo eles: Aguiarnópolis, Ananás, Angico, Araguatins, Augustinópolis, Axixá do Tocantins, Buriti do Tocantins, Cachoeirinha, Carrasco Bonito, Darcinópolis, Esperantina, Itaguatins, Luzinópolis, Maurilândia do Tocantins, Nazaré, Palmeiras do Tocantins, Praia Norte, Riachinho, Sampaio, Santa Terezinha do Tocantins, São Bento do Tocantins, São Miguel do Tocantins, São Sebastião do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins e Tocantinópolis (TOCANTINS, 2019).

A região do Bico do Papagaio possui uma área de 1.576.795,88 ha, sendo abrangida por dois biomas predominantes: o Cerrado na maior parte do seu território e o Amazônia. O clima regional é classificado como Tropical, apresentando temperaturas que variam entre 20°C a 40°C e precipitação anual média com intervalo de 1000 a 2000 mm. As classes de solos predominantes são, Latossolo Vermelho-Amarelo, em maior proporção, Neossolo Quartzarênico, Chernossolo Argilúvico e Plintossolo Pétrico. O relevo da região associa-se às unidades: Planalto do Interflúvio Araguaia-Tocantins; Chapadas do Meio Norte; Depressão do Araguaia. Tais unidades mostram modelados de dissecação (aguçados, convexos e tabulares) e, na área, também ocorrem formas de acumulação (planícies fluviais) com altitudes variando entre 200 a 300 m (DIAS; MATTOS, 2009).

Esta região é de interesse de empresas siderúrgicas e de indústrias de papel e celulose, localizadas especialmente nos estados do Pará e do Maranhão, as quais utilizam o carvão vegetal e madeira provenientes de cultivos de eucaliptos cultivados nesta região de estudo.

Figura 1. Localização da área de estudo, denominada Região do Bico do Papagaio



Fonte: Próprio autor

O presente trabalho foi realizado em duas etapas: a) Dinâmica da área de produção de eucalipto (2006 – 2019) e b) Análise dos aspectos físicos, estratégicos e

potencialidades para a produção de eucalipto na região, conforme descrito a seguir.

Dinâmica da área de produção de eucalipto (2006 – 2019)

Para a execução da primeira etapa, referente à análise da dinâmica da área de produção de eucalipto, realizou-se as tarefas de aquisição e processamento de imagens, visitas de campo e em seguida a interpretação de imagens e geração dos mapas, identificando as áreas de plantio de eucalipto.

Concernente ao levantamento dos dados, foram realizadas aquisições de imagens de satélite Landsat-5 e Landsat-8 para os anos de 2006 e 2019, entre os meses de julho a setembro de cada ano, adotando como critério a ausência de nuvens e durante a estação da seca na região, conforme indicado por Cabral (2017) e realizado por Paz et al. (2020), na mesma região.

No satélite Landsat-5 a partir das informações espectrais do sensor Thematic Mapper (TM) as imagens foram adquiridas no endereço: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, pertencente à Divisão de Geração de Imagens (DIDGI), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Outro sensor multiespectral utilizado foi o *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat-8 com imagens adquiridas por meio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) disponível no endereço eletrônico <http://earthexplorer.usgs.gov>.

A aquisição de imagens para os anos de 2006 e 2019 compreendeu um total de 6 cenas relacionadas de acordo com as órbitas/pontos (222/65, 222/64 e 223/64), satélite e datas referentes ao período de captura de cada cena, que variou de 01/07/2006 a 13/08/2019.

Após aquisição das imagens foram realizados os processamentos digitais utilizando o software ArcGIS, com início na fase de pré-processamento, com uma composição colorida das bandas das bandas 1 (0,45 - 0,52 μm), 2 (0,50 - 0,60 μm) e 3 (0,63 - 0,69 μm) do Landsat-5 em escala 1:50.000. No caso do Landsat-8 foram as seguintes bandas na composição: 3 (0,53 - 0,59 μm), 4 (0,64 - 0,67 μm) e 5 (0,85 - 0,88 μm), com imagens em escala 1:25.000. As bandas utilizadas para os dois satélites possuem resolução espacial de 30 m.

O uso da ferramenta Image Analysis, do aplicativo ArcMap do pacote de *software* ArcGis®, permitiu a edição do histograma da imagem para estabelecer um realce único para imagens orbitais ou dias diferentes. Com o propósito de levantar dados consistentes da área de estudo, foram visitadas *in loco* em agosto de 2019, áreas de produção de eucalipto das empresas do setor florestal estabelecidas na região, realizando-se registros fotográficos e coletas das coordenadas geográficas com GPS, que posteriormente auxiliaram na

classificação das imagens. Para classificação das imagens foi utilizado o método de interpretação de imagens, que consiste em interpretar imagens obtidas por sensores remotos, contendo informações a serem analisadas (FLORENZANO, 2011). Nesse processo alguns objetos podem ser identificados com maior facilidade com: relevo, drenagem, água, cobertura vegetal e uso da terra. Alguns elementos são considerados básicos no momento de interpretar uma imagem como: a tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização.

A interpretação ou classificação digital da imagem consistiu em rotular um grupo de pixels de características semelhantes, como uma classe de identificação daquela porção de território. Para a presente pesquisa foi utilizado o método de classificação visual, com assistência de chaves de interpretação. Melo et al. (2017) consideram que a chave de interpretação é uma maneira de auxiliar o usuário a interpretar as feições existentes na imagem, analisando os elementos visuais existentes na imagem.

Este método foi uma etapa importante na realização das análises de imagens da área de estudo. Para a interpretação foram utilizados o Modelo de chave de interpretação de objetos e feições representadas em imagens TM Landsat-5, 1(R), 2(G) e 3(B) e o em imagens OLI Landsat-8, 5(R), 4(G) e 3(B), conforme Florenzano (2011).

No decorrer da análise das imagens de satélite Landsat-5, por diversas vezes se recorreu a esta amostra para comparar com possíveis feições a serem encontradas nas imagens. A utilização da chave de interpretação referente as imagens OLI Landsat-8, trouxe maior agilidade ao processo de interpretação e permitiu eliminação de possíveis equívocos no decorrer das análises.

Assim, após a classificação visual das imagens com telas comparativas simultâneas do ArcMap e imagens geradas pelo *Google Earth*, foram produzidos mapas contendo as áreas identificadas com cultivo de eucalipto (em hectares), em cada um dos municípios localizados na região do Bico do Papagaio para os anos de 2006 e 2019, em escala 1:1.000.000, georreferenciadas no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) SGR WSG84. A disposição das telas para as mesmas áreas, com ferramentas diferentes, conferiu celeridade ao processo e possibilitou a checagem das feições analisadas, tanto para as imagens de 2006, como para 2019.

A partir desses produtos gerados, pode-se analisar a evolução espaço temporal das áreas de produção de eucalipto na região e por municípios entre os anos de 2006 e 2019.

Análise dos aspectos físicos, estratégicos e potencialidades para a produção de eucalipto na região

Para a análise dos aspectos físicos, considerou-se o relevo, declividade, solos e aptidão agroclimática. No que se refere ao relevo e a determinação das classes de declive para fins de mecanização, utilizou-se a classificação baseada em Ranieri; Barretto; Klug (2007): a) Facilmente mecanizado (0 a 5%); b) Mecanizado (5 a 12%); c) Moderadamente mecanizado (12 a 18%); Dificuldade na mecanização ou não mecanizado (> 18%). Para atender esta atividade foi gerado o mapa de classes de declividade a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), que apresentam resolução espacial de 90m, obtidas do banco de dados digital da U. S. Geological Survey - USGS (2020). Foi feito um mosaico das imagens de radar, e em seguida gerou-se o modelo de elevação digital do terreno da região do Bico do Papagaio, e procedeu-se a classificação da declividade. A partir da geração do mapa de declividade, foi sobreposto os *shapes* das áreas de produção de eucalipto para analisar a adequabilidade em relação à mecanização e sua eficiência. Com relação aos aspectos referentes aos solos, foram adquiridos arquivos relativos à classificação de solos para o estado do Tocantins compatível com a escala 1:1.000.000, na base de dados da Seplan (2017). Foi realizado a readequação da classificação dos solos por Collicchio (2008), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006). A partir dessa nova base de dados, disponibilizada pelo Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM) da UFT, gerou-se as classes de solo que ocorrem na Região do Bico do Papagaio. A partir da geração do mapa de ocorrência de solos na região, foi sobreposto os *shapes* das áreas de produção de eucalipto identificadas, para analisar a posição em relação às classes de solos.

Em relação às necessidades agroclimáticas para o bom desempenho do eucalipto, realizou-se o zoneamento de aptidão agroclimática para a espécie *E. urophylla*, considerando a faixa de temperatura média anual entre 16 e 27°C e precipitação anual entre 1.000 e 2.000 mm e intervalos de deficiência hídrica anual, conforme preconizado por Souza (2017). Com base nesses parâmetros exigidos pelo *E. urophylla*, foram definidas as classes de aptidão agroclimática (Inapta, Apta, Restrita e Marginal) e realizado os respectivos zoneamentos de aptidão agroclimática da cultura para a região, considerando três tipos de capacidades de água disponível do solo (CAD), que foram; CAD = 100mm, CAD = 150mm e CAD= 220mm, de acordo com a metodologia utilizada por Souza (2017).

A partir dos dados meteorológicos disponibilizados pelo Laboratório LAMAM, como de temperatura mensal e precipitação pluviométrica mensal, foi realizado o balanço hídrico climatológico de Thorthwaite e Mather (1955) e por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), foram gerados mapas de temperatura média anual, precipitação anual e de deficiência hídrica anual. Fazendo a sobreposição de mapas com o apoio do SIG, foram elaborados mapas contendo as zonas de aptidão de cultivo para região, para cada CAD, conforme realizado por Souza (2019). Posteriormente foram sobrepostos os *shapes* referentes às áreas de cultivo de eucalipto identificadas referentes ao ano de 2019, nos mapas dos zoneamentos agroclimáticos, considerando cada CAD do solo.

Com relação à análise da logística de transporte na região e os eixos de integração logística, foi gerado um mapa contendo as modalidades de transporte na Região do Bico do Papagaio e na região dos polos siderúrgicos e da indústria de papel e celulose, localizadas no Pará e no Maranhão. Os dados digitais foram obtidos da Secretaria da Infraestrutura, Cidades e Habitação do estado do Tocantins, onde obteve-se os arquivos contendo a rede rodoviária e ferroviária, com divisas por município 2020. Em seguida foram posicionadas no mapa de logística de transporte as áreas de cultivo de eucalipto identificadas neste estudo na região. De acordo com as informações obtidas junto às empresas, sobre a capacidade instalada das siderúrgicas localizadas próximas à região de estudo, foi realizada uma estimativa de necessidade de área de cultivo, onde relacionou-se com a Região do Bico do Papagaio, a qual encontra-se posicionada de forma estratégica, no atendimento de produto energético às demandas da indústria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 - Dinâmica da área de plantio do eucalipto na Região do Bico do Papagaio (2006 a 2019)

A partir dos resultados observados na Tabela 1 e Figura 2, percebe-se que dos 25 municípios do Bico do Papagaio, em 2006 foram identificadas áreas ocupadas com o cultivo de eucalipto em apenas quatro municípios (16%) e após 13 anos, o número de municípios produtores de eucalipto na região aumentou de forma consistente para 14 em 2019, avançando para outros 10 municípios, representando 56% do total.

Ao ensejo, nota-se que a área total da eucaliptocultura em 2006 correspondia a 9.180,15 ha, e elevou para 37.078,99 ha, observando-se uma variação positiva de aproximadamente 404%.

Pela Tabela 1, constata-se que em 2006, o município com maior área de cultivo de eucalipto foi o de São Bento do Tocantins, com 5.402,72 ha, o correspondente a 58,85% do total mapeado na região para aquele ano. Araguatins também destacou-se em área plantada de eucalipto, pois apresentou uma área de 3.337,17 ha, representando 36,35% do total cultivado. Nos demais municípios, Aguiarnópolis e Darcinópolis, localizados mais ao sul da região, foram identificadas pequenas áreas de cultivo de eucalipto.

Na Figura 2a é possível visualizar que em 2006, havia uma maior concentração das áreas de cultivo de eucalipto identificadas na divisa dos municípios de Araguatins e São Bento do Tocantins. Para a mesma localidade para o ano de 2007, Paz et al. (2020), identificaram áreas de florestas comerciais, configurando expansão e consolidação dos plantios na região.

Pela Tabela 1, nota-se os cinco municípios que se destacaram com maiores áreas de plantio em 2019 foram: São Bento do Tocantins (11.026,71 ha), Araguatins, Ananás e Darcinópolis, com áreas superiores a 5.000 ha e Angico com 2.407,68 ha.

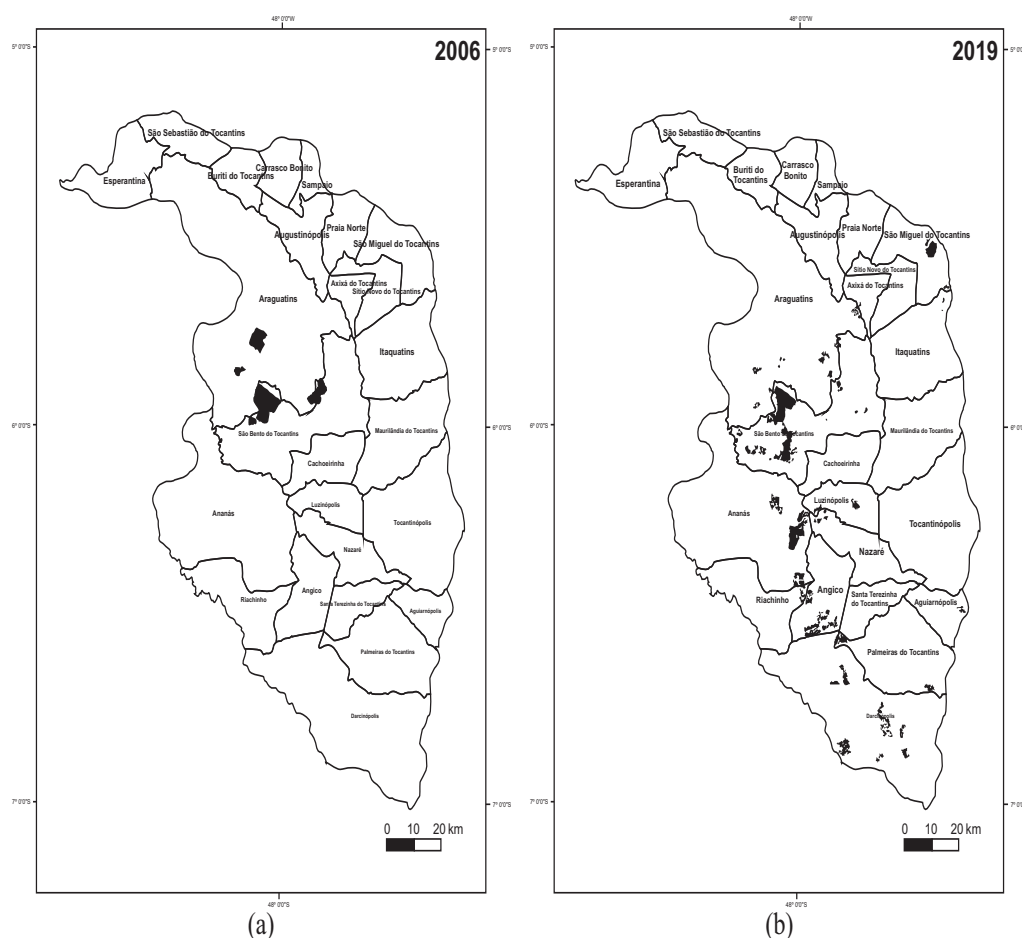
No caso de São Bento do Tocantins, em 2019 foi quantificada uma área de 11.026,71 ha, representando um acréscimo de área de aproximadamente 104%, em relação a 2006. O aumento acentuado pode ser justificado pela atividade de empresas de silvicultura ligadas ao ramo de siderurgia, que têm como principal insumo utilizado em seu processo industrial, o carvão vegetal. Em seu website a empresa informa que o segmento florestal, fundado em 2006, localizado no município de São Bento do Tocantins - TO, produz redutor bioenergético para atender uma siderúrgica, da própria empresa, em Marabá - PA (SINOBRAS, 2020).

Tabela 1. Evolução da área cultivo de eucalipto na região do Bico do Papagaio, por município, no período de 2006 a 2019

Municípios com cultivo	Área (ha)		Variação (%)
	2006	2019	
Aguiarnópolis	110,55	262,25	137,22
Ananás	-	5.744,78	-
Angico	-	2.407,68	-
Araguatins	3.337,17	5.870,19	75,90
Axixá do Tocantins	-	46,83	-
Cachoeirinha	-	449,03	-
Darcinópolis	329,71	5.003,50	1.417,55
Itaguatins	-	85,36	-
Luzinópolis	-	1.297,50	-
Nazaré	-	533,44	-
Palmeiras do Tocantins	-	1.241,12	-
Riachinho	-	1.219,60	-
São Bento do Tocantins	5.402,72	11.026,71	104,10
São Miguel do Tocantins	-	1.891,00	-
Total	9.180,15		404,00

Fonte: Próprio autor

Figura 2 - Áreas de cultivo de eucalipto identificadas na Região do Bico do Papagaio em 2006 (a) e 2019 (b)



Fonte: Próprio autor

O município de Darcinópolis, que em 2006 possuía uma área ocupada pelos cultivos florestais de eucalipto de 329,71 ha, e que representava na época apenas 3,59% do total, em 2019 o município ampliou de forma muito significativa a sua área dedicada ao setor florestal, atingindo 5.003,50 ha.

Esse salto positivo, em termos de incremento representa 1.417,55%, refletindo a grande demanda de tal município por empresa do setor siderúrgico, para produção de carvão vegetal e posterior envio do redutor para uma siderúrgica situada em Açailândia, no Maranhão.

Nesse sentido, os municípios de São Bento do Tocantins e de Darcinópolis se destacaram na região, o primeiro pela quantidade de área de plantio e o segundo pelo incremento de área em percentual no período, correspondendo a um crescimento médio anual de 109%.

A distribuição dos plantios de eucalipto no Estado do Tocantins por região, conforme Tocantins (2015), apresentava a região do Bico do Papagaio com um total de 31.345,77 ha.

Na mesma região em 2017, constatou-se um aumento da área plantada para 38.153 ha, conforme informado pelo IBGE (2017) e em 2019, com resultados do presente estudo, a área total observada foi de 37.078,99 ha. Isso evidencia que a região obteve um acréscimo de cerca de 18,29% na área plantada de eucalipto de 2015 para 2017 e uma leve redução e/ou estabilização da área de plantio de 2017 para 2019, mostrando a estagnação do setor siderúrgico nacional, devido a tendência mundial de desaceleração, conforme relatado pela FIETO (2018) e Duarte; Collicchio (2020).

Destaca-se que a área de produção de eucalipto no Estado do Tocantins em 2019, era de cerca de 149.291 ha (IBÁ, 2020) e o observado no presente estudo na região do Bico do Papagaio no mesmo ano, foi de 37.078,99 ha, correspondendo a cerca de 24,84% da área total de eucalipto do Tocantins.

Constata-se pela Figura 2, que a expansão das áreas de plantio de eucalipto no período de estudo, ocorreu nos sentidos oeste – centro e oeste – sul - sudeste e numa pequena porção à nordeste da região, envolvendo portanto, 14 municípios produtores, correspondendo a 56% dos municípios da região.

2 - Aspectos físicos, estratégicos e potencialidades para a produção de eucalipto na região

Em observância ao crescimento de áreas de cultivo de eucalipto na Região do Bico do Papagaio, constatado nesse trabalho, apresenta-se alguns aspectos físicos, de infraestrutura e de localização, que são estratégicos e tem oportunizado o incremento do cultivo desta cultura na região.

2.1 - Relevo, declividade e classes de solos da região

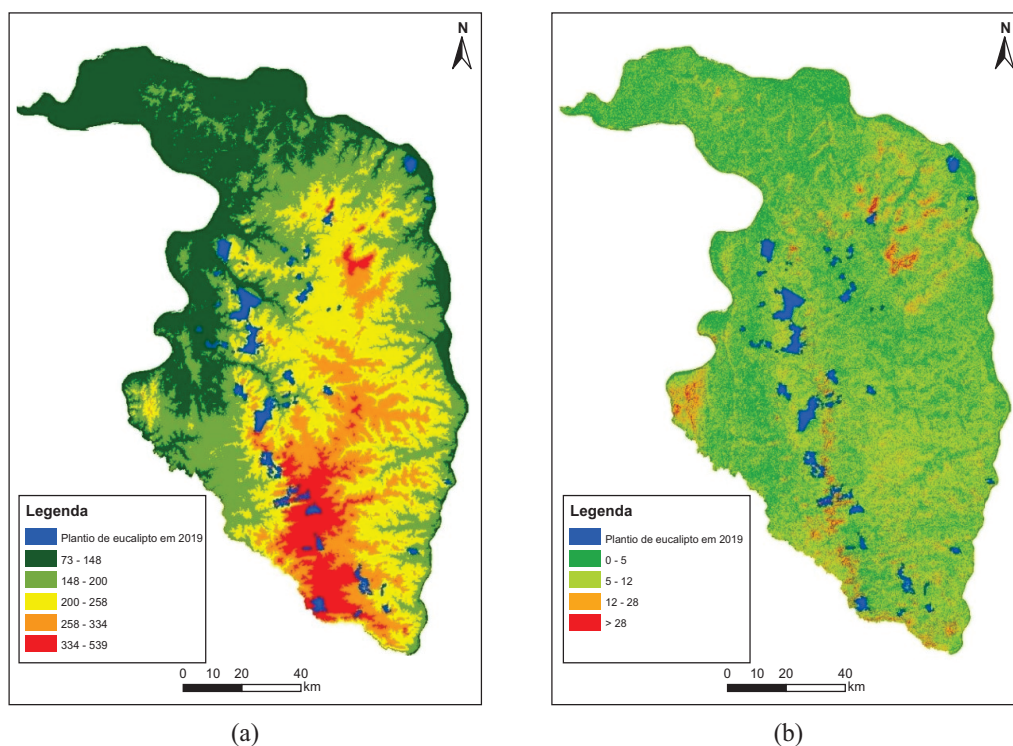
Com relação ao relevo ressalta-se que a maioria do território tocantinense (85 a 90%) apresenta relevo suave, com declividade inferior a 15%, fazendo com que o Estado tenha boa aptidão para o cultivo agrícola mecanizado (SEPLAN, 2012), o que foi confirmado por Collicchio (2008) com estudos referentes a cultura da cana-de-açúcar no Estado.

De acordo com o mapa do relevo (Figura 2a), o relevo da região possui uma variação próxima de 70 m, para as menores altitudes, podendo chegar à elevação de terreno superior a 500 m.

Considerando a Figura 2b, constata-se que as áreas de cultivo de eucalipto estão localizadas predominantemente em áreas com declividade entre 0 a 12%. Esta condição favorece a implantação de empreendimentos agrícolas e florestais, beneficiando nas fases de cultivo e em especial na fase de colheita, que na silvicultura é uma das atividades mais onerosas do cultivo, podendo afetar diretamente no rendimento das máquinas nas operações florestais (LIMA; LEITE, 2008). Esses autores afirmaram ainda que a colheita florestal em áreas com condições topográficas desfavoráveis, exige alto nível de planejamento, bem como o desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos para essas condições, a fim de reduzir custos e aumentar o rendimento das atividades de colheita.

Apesar de existirem máquinas que conseguem trabalhar em áreas mais declivosas, diversos estudos têm sido realizados no país relacionando a declividade do terreno e rendimento de máquinas na colheita de eucalipto, como a *harvester* e *feller buncher*.

Figura 2 - Distribuição das áreas de cultivo de eucalipto no Bico do Papagaio, considerando o relevo (a) e declividade em percentual (b) em 2019



Fonte: Próprio autor

Utilizando a máquina *harvester*, na colheita de eucalipto, Leite et al. (2015), identificaram que as áreas com declividades mais acentuadas, provocaram um maior consumo médio de tempo de uma mesma atividade do ciclo operacional, bem como o aumento do custo. Miyajima et al. (2016) estudaram um sistema de colheita de árvores inteiras (*full tree*) comparando o rendimento do *feller buncher* em função da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores. Com base nos resultados, os autores concluíram que o rendimento médio da colheita com o *feller buncher*, diminuiu com o aumento da declividade do terreno.

Quanto ao uso potencial da terra, a Seplan (2012) classificou o Estado do Tocantins em zonas segundo sua potencialidade e o uso da terra e baseado nessa classificação, percebe-se que cerca de 40 a 50% do território da região do Bico do Papagaio, apresenta as terras com classe de produção de uso intensivo. Essas áreas estão espacialmente localizadas nas porções centro, leste, assim como uma parte no sul e no norte da região, onde a maioria dos cultivos de eucalipto estão situados.

Para desenvolver adequadamente o cultivo do eucalipto, o conhecimento dos tipos de solos que ocorrem na região é de fundamental importância, tendo em vista que é um dos componentes que definem as áreas mais aptas para essa atividade. Cada unidade de solo dependendo de sua ocorrência na região, pode apresentar variações quanto às suas características, proporcionando fatores positivos ou limitantes ao uso agrícola e da silvicultura, que poderá afetar a classificação da aptidão edáfica natural para a produção de eucalipto, porque a escala utilizada corresponde a 1:1.000.000. Além disso, neste trabalho encontra-se identificado até o segundo nível hierárquico das classes de solos, ou seja, é muito ampla, devendo-se realizar estudos mais detalhados dos solos localmente, para a implementação de práticas de manejo adequadas de acordo com cada tipo de solo, conforme preconizado por Prado (2007).

Conforme o mapa de solos da Seplan (2007), adaptado por Collicchio (2008), segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006), as classes de solo que ocorrem na Região do Bico do Papagaio são: 1) Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA, 2) Argissolos Vermelhos – PV, 3) Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA, 4) Latossolos Vermelhos – LV, 5) Neossolos Quartzarênicos – RQ, 6), Neossolos Litólicos – RL, 7) Plintossolos Pétricos – FFn e 8) Gleissolos.

Destaca-se que nesta região, há o predomínio das classes de solos agrupadas: Latossolos, Neossolos e Argissolos, os quais apresentam baixa fertilidade natural, e que somados representam quase a totalidade do território, o equivalente a 91%. De acordo com o tipo de solos, há a predominância de Neossolos Quartzarênicos com quase 40% da área total da região, seguido dos Latossolos Vermelhos-Amarelos (31,55%) e Latossolos Vermelhos (4,93%), que juntos, os Latossolos correspondem a 36,48%. Em terceiro lugar os Argissolos somam 14,65%, sendo que os Argissolos Vermelhos ocupam 12,94% e os Argissolos Vermelhos-Amarelos estão presentes em apenas 1,71%.

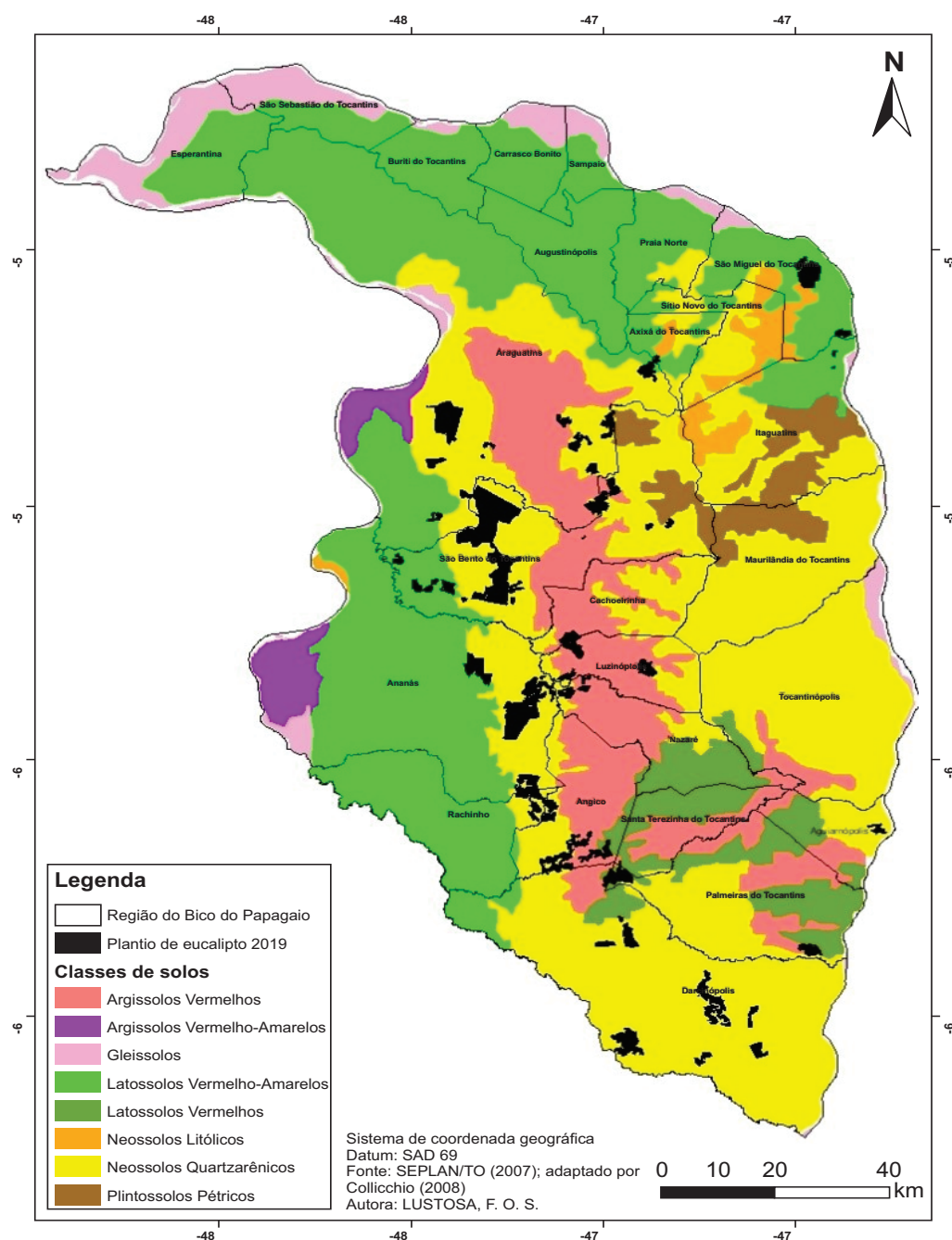
A seguir apresenta-se a espacialização das distintas classes de solos que ocorrem na região do Bico do Papagaio, mostrando a localização das áreas de produção de eucalipto implantadas nos referidos tipos de solos (Figura 3).

Constata-se pela Figura 3, que as áreas de produção de eucalipto estão localizadas predominantemente sobre Neossolos Quartzarênicos, conferindo quase 75% dos cultivos na região e cerca de 23,82% estão implantadas em solos classificados como Latossolos e Argissolos. Cultivos nesses tipos de solos, exigem manejos do solo e florestal adequados, devido à baixa fertilidade natural, textura normalmente arenosa e drenagem elevada, especialmente no que tange às áreas de produção instaladas em Neossolos Quartzarênicos.

Associado aos fatores físico e químicos do solo, tem-se a deficiência hídrica do solo, que conforme estimado por Souza (2017), varia de 200 mm a 650 mm, dependendo da capacidade de retenção de água. Contudo, em média tem-se o predomínio de um intervalo de deficiência hídrica, variando de 350 mm a 450 mm nesta região, que é considerado elevado, podendo impactar negativamente na produtividade.

Nesse sentido, destaca-se que a produtividade média no Estado do Tocantins estimada é de cerca de 28,57 m³/ha.ano (200 m³/ha), estando abaixo da produtividade média brasileira, que atingiu 36,0 m³/ha.ano (252 m³/ha) em 2018 (IBÁ, 2019).

Figura 3 - Classificação dos solos e localização das áreas de produção de eucalipto na Região do Bico do Papagaio



Fonte: Próprio autor, com base na SEPLAN (2007) e Collicchio (2008)

2.2 - Condições climáticas e aptidão agroclimática do eucalipto a região

A temperatura média anual estimada para a região do Bico do Papagaio, varia de 26,0 °C a 27,3 °C, a precipitação pluviométrica anual oscila em média entre 1.450 mm e 1.950 mm e a deficiência hídrica de 250 mm a 650 mm (SOUZA, 2017).

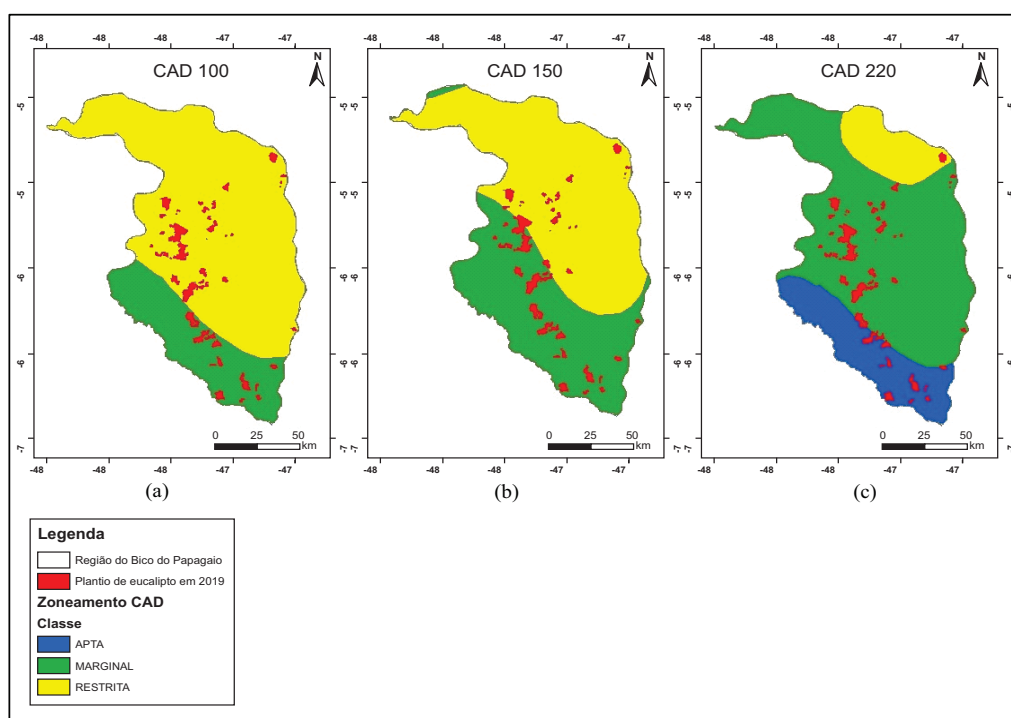
Destaca-se que as espécies de eucalipto mais indicadas para uso visando fins energéticos, são: *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis* x *E. urophylla*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus camaldulensis* (SILVA, 2007).

Nesse contexto e de acordo com informações coletadas *in loco*, nesta pesquisa, o *Eucalyptus urophylla* pode ser considerada uma das espécies mais cultivadas nos empreendimentos florestais implantados na região.

Sendo assim, foi feita a sobreposição das áreas identificadas com cultivo de eucalipto no ano de 2019, nos mapas dos zoneamentos de aptidão agroclimática para o cultivo do *Eucalyptus urophylla*, considerando três capacidades de armazenamento de água do solo (CAD), baseado na pesquisa realizada por Souza (2017) e conforme apresentado na Figura 4.

Em relação às necessidades agroclimáticas para o bom desempenho da espécie *E. urophylla*, Flores et al. (2016) consideraram como adequados, a faixa de temperatura média anual entre 16 e 27°C e precipitação anual entre 1.000 e 2.000 mm, cujos parâmetros foram utilizados por Souza (2017), para definir as classes de aptidão, nos respectivos zoneamentos de aptidão agroclimática da cultura (Figura 4).

Figura 4 - Aptidão agroclimática do *Eucalyptus urophylla* para a Região do Bico do Papagaio, considerando as áreas de produção de eucalipto por classe de aptidão e para o CAD = 100 mm (a), CAD = 150 mm (b) e CAD = 220 mm (c)



Fonte: Elaborado a partir de Souza (2017)

Tabela 2 - Classes de aptidão agroclimática do *Eucalyptus urophylla* para o Bico do Papagaio, considerando as áreas de produção de eucalipto, por classe de aptidão e por CAD

Classes	Para CAD=100 mm		Para CAD=150 mm		Para CAD=220 mm	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
APTA	0,00	0,00	0,00	0,00	8261,52	22,28
MARGINAL	10.415,51	28,09	24.339,21	65,64	27.205,85	73,37
RESTRITA	26.663,48	71,91	12.739,78	34,36	1.611,62	4,35
TOTAL	37.078,99	100,00	37.078,99	100,00	37.078,99	100,00

Fonte: Estimada a partir dos resultados de Souza (2017)

Considerando a CAD = 100 mm, para o zoneamento de aptidão agroclimática (Figura 4a e Tabela 2), verificou-se que do total de área plantadas com eucalipto na região, equivalente a 37.078,99 ha, cerca de 71,91% dessas áreas estão dentro de uma classe de aptidão “restrita”, o que para Souza (2017), demonstra uma condição térmica favorável e restrição hídrica acentuada. Identificou-se que 28,09% das áreas de plantio de eucalipto, estão dentro da classe de aptidão “marginal”, o que representa uma condição de média produtividade para a cultura. Ao ensejo nota-se que nesta condição de CAD, não ocorre classe de aptidão “apta” ao cultivo. Quando as áreas foram confrontadas com a CAD = 150 mm (Figura 4b e Tabela 2), percebe-se uma ampliação da área “marginal”, incorporando cerca de 65,64% das áreas de plantio. Observa-se uma redução da extensão da classe de aptidão “restrita”, que nesse caso correspondeu a 34,36% dos plantios de eucalipto na região. Nota-se uma condição oposta à CAD anterior (100 mm), evidenciando a ampliação da disponibilidade hídrica, e aumentando de maneira significativa a proporção de áreas com melhores condições de cultivo na Região do Bico do Papagaio.

Considerando a condição de CAD = 220 mm (Figura 4c), constata-se uma redução muito significativa da área com classe de aptidão “restrita”, bem como da presença de áreas de produção de eucalipto, o equivalente a penas 4,35% do total de área de plantio. A maior parte dos cultivos com eucalipto, 73,37%, ficaram dentro da zona de aptidão “marginal”. Um outro aspecto positivo nessa condição, foi a detecção de 22,28% das áreas de cultivo dentro da classe de aptidão “apta”, o que para Souza (2017), pode proporcionar elevada produtividade da cultura nessas localidades, que corresponde a uma faixa em toda a porção sul da região (Figura 4c). Vale ressaltar, que não foi observada a classe “inapta”, ao cultivo do *Eucalyptus urophylla* em nenhuma das três condições dos CADs.

2.3 - Logística de transporte regional e posição estratégica da região em relação aos polos industriais siderúrgicos

Um outro aspecto de destaque na região refere-se a logística de transporte existente, rodoviária e ferroviária, bem como a proximidade de polos industriais instalados nos estados do Pará e Maranhão, conforme apresentado na Figura 5.

Caixeta-Filho (2001) afirma que um setor de transportes competitivo é fundamental para o crescimento econômico e para aumentar a eficiência da movimentação de cargas agrícolas são necessárias estratégias de integração para modais de transportes. A infraestrutura de transportes é importante para o sucesso de qualquer empreendimento, para a silvicultura ela é essencial. Os insumos necessários para o setor chegam via transporte rodoviários, bem como o escoamento dos produtos florestais. As empresas de plantios florestais existentes na região possuem uma condição privilegiada, pois além das rodovias, está situada próximo a um dos principais ramais ferroviários do país, a Ferrovia Norte Sul.

A consolidação do sistema de transportes multimodal beneficiará de forma significativa o Tocantins e a Região do Bico do Papagaio, devido à movimentação de insumos para as regiões de produção e produtos acabados para as áreas de consumo do Estado, regionalmente, do país e do exterior. Além da melhoria das condições de escoamento da produção agrícola e de origem florestal e o barateamento do frete, esses empreendimentos poderão intensificar as atividades produtivas no Estado, além da incorporação de novas áreas destinadas à produção, inclusive de floresta plantada em especial o eucalipto (COLLICCHIO, 2008).

No que se refere a infraestrutura rodoviária na região do Bico do Papagaio, destacam-se três rodovias federais, nove estaduais pavimentadas e uma em obras de pavimentação (TOCANTINS, 2020).

As rodovias federais são, BR-153 (Araguaína - Wanderlândia - Xambioá), BR-226 (Wanderlândia - Darcinópolis - Palmeiras do Tocantins - Aguiarnópolis) e BR-230 (Aguiarnópolis - Nazaré - Luzinópolis - Cachoeirinha - São Bento do Tocantins-Rio Araguaia). Já as rodovias estaduais pavimentadas, tem-se a TO-201 (Esperantina - Buriti do Tocantins - Augustinópolis - Axixá do Tocantins-Sítio Novo do Tocantins-São Miguel do Tocantins-Rio Tocantins), TO-010 (Buriti do Tocantins-São Sebastião do Tocantins), TO-134 (Darcinópolis-Angico-Luzinópolis-Cachoeirinha-São Bento do Tocantins-BR 230-Axixá do Tocantins), TO-496 (Augustinópolis-Araguatins), TO-126 (Maurilândia do Tocantins-Itaguatins-Sítio Novo do Tocantins-Sumauma em São Miguel do Tocantins), TO-

210 (Riachinho-Ananás-Angico), TO-416 (Riachinho-BR-153), TO-403 (TO-404-Sampaio) e TO-404 (Augustinópolis-Praia Norte). A TO-010 (Ananás-BR-230 e Wanderlândia-Babaçulândia), encontra-se em obras de pavimentação.

Ressalta-se a existência de pequenos trechos (abaixo de 40km de extensão) de 10 rodovias estaduais que estão trafegáveis, mas com piso de revestimento primário, as quais interligam a rede rodoviária, que são: TO-126 (Tocantinópolis-Maurilândia do Tocantins), TO-210 (TO-010 - Rio Tocantins), TO- 414 (Cachoeirinha – TO-010), TO-205 (São Bento do Tocantins – TO-010), TO-405 (Axixá do Tocantins- BR-230), TO-409 (Maurilândia do Tocantins-TO-134), TO-134 (Axixá do Tocantins-Rio Tocantins), TO-403 (Carrasco Bonito-Sampaio), TO-402 (TO- 201-Rio Tocantins) e TO-201 (Esperantina-Pedra de Amolar-Encontro das águas) (TOCANTINS, 2020).

A partir dessas rodovias federais e estaduais, existe uma densa malha de estradas municipais e de propriedades rurais que permite o acesso interno a toda a região (TOCANTINS, 2004). Essa boa rede de rodovias favorece o transporte de madeira e carvão vegetal produzidos na região, para outros estados, especialmente para o Pará e Maranhão, onde estão localizadas as indústrias de siderurgia.

A localização da região em relação aos polos siderúrgicos e de papel e celulose está a uma distância média de 250 km. O que reduz os custos com transporte do carvão para a siderúrgica em Marabá/PA, oriundo por exemplo da região de São Bento do Tocantins/TO e proveniente de Darcinópolis/TO, que é transportado até o polo ferro guseiro em Açailândia/MA. Outro seguimento beneficiado é o de papel e celulose, no caso a indústria está localizada no município de Imperatriz/MA.

No Estado do Pará, o polo produtor de Gusa de Mercado (GM) está concentrado no município de Marabá, próximo ao distrito mineiro de Carajás e contíguo à Estrada de Ferro Carajás (EFC). Contava com 10 empresas produtoras com 21 altos-fornos e capacidade instalada de quase 3,0 Mt/ano. O complexo guseiro no estado do Maranhão interligado à infraestrutura do estado do Pará, constituído pelo minério de ferro de Carajás, por meio da EFC, possuía 7 empresas, sendo que 5 delas situadas no município de Açailândia, absorvendo 1,8 Mt de capacidade instalada do Estado e mais duas empresas localizadas nos municípios de Rosário e Santa Inês que completavam uma capacidade de 2,3 Mt para o Estado do Maranhão (MME, 2009).

Esse complexo composto por 17 empresas tornou-se polo produtor que detinha em 2007, cerca de 40% da capacidade instalada brasileira de produção de Gusa de Mercado (MME, 2009).

Contudo, na última década, houve o enfraquecimento do setor siderúrgico brasileiro devido à retração significativa do mercado, iniciada em 2008, com a crise financeira mundial onde os Estados Unidos, maior comprador de ferro-gusa do país, reduziu em cerca de 80% as importações desse produto brasileiro. Além dessa razão, não houve sucesso na concentração de vendas de ferro-gusa para a China, pois este país investiu na produção própria desta matéria prima, deixando de comprar do Brasil (SIMIONI et al., 2017).

Esses fatos provocaram o fechamento de siderúrgicas nessa região, restando a SINOBRAS - Siderúrgica Norte Brasil S.A, em Marabá no estado do Pará, a Viena Siderúrgica do Maranhão S/A e a Aço Verde do Brasil – AVB, localizadas em Açailândia, no Estado do Maranhão.

Ao mesmo tempo nesse período, considerando outro setor industrial que envolve diretamente a produção de eucalipto, ocorreu na região a implantação da Suzano Papel e Celulose em Imperatriz – MA, para a produção de celulose. Diferentemente do mercado siderúrgico, o de celulose encontra-se em estabilidade/crescente, sendo observado um incremento de 8% na produção brasileira de celulose, do ano de 2017 para 2018. Além disso, em 2018, o Brasil consolidou-se como o segundo maior produtor mundial de celulose, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (IBÁ, 2019). A capacidade produtiva da Suzano é de 1,5 milhão de toneladas/ano e para o escoamento da celulose produzida, utiliza-se um ramal ferroviário próprio de 28 km até a ferrovia Norte-Sul, que a partir daí percorre mais 100 km até a ferrovia Carajás (Revista OE, 2014).

Com relação à capacidade instalada do complexo siderúrgico do Pará e Maranhão atual e potencial, estima-se um total de 1,9 milhões de toneladas/ano de produção de aço ou ferro gusa, e que para isso, necessitará de carvão vegetal e consequentemente, áreas de produção de eucalipto.

Nesse contexto, com o objetivo de verificar o potencial da Região do Bico do Papagaio, para produção de eucalipto e carvão vegetal, realizou-se estimativas do tamanho de áreas de cultivo e a quantidade necessária de carvão vegetal para atender cada siderúrgica, com base nos dados obtidos por Duarte (2020), que estão apresentadas na Tabela 3.

A SINOBRAS é a maior recicladora do Norte/Nordeste brasileiro, produzindo aço com 70% de sucata e 30% de ferro-gusa líquido e no Estado do Pará, possui capacidade produtiva de 380 mil toneladas de aço. Contudo, encontra-se em fase de ampliação, cuja capacidade produtiva passará para 800 mil toneladas/ano de aço laminado, sendo que haverá o aumento do beneficiamento de sucata para 170 mil toneladas/ano (SINOBRAS, 2020).

Para a SINOBRAS atingir sua capacidade instalada após a ampliação, serão necessárias cerca de 240 mil toneladas de gusa líquido. Esse volume consome aproximadamente 1,68 toneladas de minério de ferro e em torno de 3 m³ de carvão vegetal por tonelada de gusa produzido, que representam cerca de 75% do custo de produção do ferro gusa (MME, 2009).

Duarte (2020), estudando a qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* com 14 anos idade, plantados na região do Bico do Papagaio, obteve por meio de análise laboratorial, que a densidade relativa aparente média do carvão vegetal foi de 356 kg/m³. Sendo assim seria necessário cerca de 1.068 kg de carvão vegetal para produção de uma tonelada de gusa.

O rendimento gravimétrico médio do carvão vegetal constatado pelo mesmo autor foi 37%, ou seja, são necessárias 2,7 toneladas de madeira para a produção de 1 tonelada de carvão. Com uma densidade básica da madeira média de 565 kg/m³, de acordo com os dados alcançados pelo autor, seriam necessários 4,78 m³ de madeira para a produção de 1 tonelada de gusa. Considerando uma produtividade média de 200 m³ de madeira/hectare, para a produção das 240 mil toneladas de gusa/ano demandadas pela SINOBRAS, serão necessários 5.736 hectares de cultivo de eucalipto por ano.

Considerando os dados utilizados na estimativa anterior, realizou-se a estimativa para a Viena Siderúrgica do Maranhão S/A, a qual possui a capacidade instalada para produção de 500.000 t/ano de ferro gusa, com um conjunto de cinco alto fornos.

Os produtos gerados por esta siderúrgica são: ferros gusa aciaria, nodular e cinzento (VIENA SIDERÚRGICA, 2020). Sendo assim, estimou-se que serão necessários 11.950 hectares de cultivo de eucalipto por ano e cerca de 534.000 t/ano de carvão vegetal. Já a Aço Verde do Brasil, possui a capacidade instalada para produção de 600.000 t/ano de aço longo (AÇO VERDE DO BRASIL, 2020), e que por falta de dados mais detalhados, considerou-se a mesma proporção de produção de aço da SINOBRAS, ou seja, 30% oriundo do ferro gusa e 70% de sucata. Nesse sentido, estimou-se que serão necessários 4.302 hectares de cultivo de eucalipto por ano e cerca de 192.240 t/ano de carvão vegetal.

Pela Tabela 3 observa-se que a capacidade instalada atualmente refere-se 1.480.000 t/ano para produção de aço e/ou ferro gusa. Contudo essa capacidade encontra-se em fase de ampliação, pois a SINOBRAS aumentará sua capacidade instalada para 800.000 t/ano.

Tabela 3 - Estimativas da necessidade de áreas para a produção de eucalipto e a quantidade necessária de carvão vegetal para atender cada siderúrgica, considerando sua respectiva capacidade instalada

Siderúrgica	Localização	Capacidade Instalada ou potencial produção de aço ou gusa (t/ano)	Necessidade de carvão vegetal (t/ano)	Área de produção necessária (ha/ano)	Área total plantada necessária (ha)
SINOBRAS	Marabá-PA	800.000 ¹	256.320	5.736	40.152
Viena	Açailândia-MA	500.000 ²	534.000	11.950	83.650
AVB	Açailândia-MA	600.000 ³	192.240	4.302	30.114
TOTAL		1.900.000	982.560	21.988	153.916

¹ Capacidade instalada atual é de 380.000 t/ano de aço, porém encontra-se em fase de ampliação para 800.000 t/ano de aço, sendo 30% oriundo do ferro gusa e 70% de sucata.

² Capacidade instalada para produção de ferro gusa.

³ Capacidade instalada para produção de aço. Devido à falta de dados detalhados, considerou-se a mesma proporção da SINOBRAS.

Nota: Considerou-se os dados de Duarte (2020) para realizar as estimativas da necessidade de carvão e para a estimativa de áreas de produção utilizou-se a produtividade média de 200 m³ de madeira/hectare.

Nesse contexto, para fazer funcionar todas as três siderúrgicas numa situação de utilização de toda a capacidade instalada, seriam necessários de forma geral 982.560 t/ano de carvão vegetal extraídos de uma área total de aproximadamente 21.988 hectares ao ano. Considerando um ciclo médio de 7 anos para a madeira estar apta para o corte, seria preciso portanto, uma área global equivalente a 153.916 hectares.

A siderúrgica SINOBRAS possui atualmente a capacidade instalada de 380.000 t/ano de aço. Fazendo uma estimativa para esta condição, seria necessária 121.752 t/ano de carvão vegetal e uma área de produção de eucalipto de cerca de 19.072,2 hectares.

Destaca-se ainda que grande parte das siderúrgicas não são autossuficientes na produção de carvão vegetal. Sob a influência de plantas industriais em operação nos estados do Pará e do Maranhão, e de uma possível retomada do crescimento do mercado do aço, existe a perspectiva de ampliação e fortalecimento dos cultivos na região do complexo siderúrgico, inclusive no estado do Tocantins, e especialmente na Região do Bico do Papagaio (DUARTE; COLLICCHIO, 2020).

CONCLUSÃO

A identificação e mapeamento das áreas de cultivo de eucalipto na Região do Bico do Papagaio, com imagens de satélite para os anos de 2006 e 2019, possibilitou estabelecer uma dinâmica de crescimento significativa para a cultura, principalmente para nos municípios de São Bento do Tocantins e Araguatins.

Fatores como a atuação de empresas siderúrgicas, com indicativo para o suprimento de carvão vegetal e indústria de papel e celulose, podem ser apontados com preponderante ao incremento de áreas com eucalipto na região. Tais números mostraram-se positivos, mesmo com as reduções ou estabilizações sofridas pelo setor siderúrgico nos últimos três anos, em decorrência da desaceleração no mercado mundial. Os aspectos físicos, estratégicos e potencialidades para a produção de eucalipto na região, por serem fundamentais ao incremento da cultura. Constatou-se o predomínio do relevo considerado suave, o que favorece a mecanização da cultura e pode beneficiar a redução dos custos em uma das fases mais onerosa do cultivo de eucalipto, a colheita. As classes de solo na região também devem ser consideradas, pois dependendo das características, podem influenciar de maneira positiva ou limitante ao desenvolvimento da silvicultura.

Ao analisar a ocorrência de classes de solos na Região do Bico do Papagaio, observou-se uma maior predominância de Neossolos Quartzarênicos, sendo a mesma classe com maior ocorrência nas áreas com produção de eucalipto. Solos desta classe exigem um manejo adequado para a cultura, devido à sua baixa fertilidade natural, aliada à deficiência hídrica da região.

Foi identificado que a espécie com maior predominância na região é o *Eucalyptus urophylla*, e que em relação à aptidão agroclimática e a localização das áreas de cultivo apresentou-se com variação entre “restrito” e “marginal”, dependendo da capacidade de água disponível do solo (CAD). Para maiores valores da CAD, nota-se um maior percentual de áreas classificadas com “marginal”, possibilitando seu desenvolvimento, considerando o uso de técnicas e manejos adequados a cada realidade local.

A logística de transporte e a posição estratégica da região, comparadas aos polos siderúrgicos foram considerados durante a análise. Uma vez que, o sucesso dos empreendimentos silvícolas regionais depende do bom planejamento para suprimento dos insumos necessários aos cultivos e posterior escoamento da produção. Nesse quesito, a região está posicionada estrategicamente em relação aos modais de transportes estaduais e federais. Como exemplo tem-se a BR-153 e a Ferrovia Norte-Sul.

Considerando a capacidade instalada para a produção das indústrias siderúrgicas atendidas na região, em relação à área plantada e a quantidade de carvão vegetal produzida, verificou-se uma demanda de áreas de cultivos bem superior ao que foi identificado, o que sugere que estas indústrias não são autossuficientes na produção de carvão vegetal. E caso ocorra uma retomada de crescimento do mercado do aço, a necessidade de ampliação e fortalecimento do setor no contexto regional seria de suma importância. Os aspectos analisados na pesquisa podem dar suporte e auxiliar a tomada de decisões, direcionando investimentos públicos e privados, aumentando a potencialidade agroenergética local e regional.

Agradecimentos

Ao Projeto PROCAD/AM - 2018 - CAPES, ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da UFT e as equipes do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia e do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais (LAMAM) da UFT.

Referências Bibliográficas

AÇO VERDE DO BRASIL. **Site oficial**. 2020. Disponível em: <<https://avb.com.br/aco-verde-do-brasil/>>. Acesso em: 16 out. 2022.

BRASIL. **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil**: subsídios para revisão do Plano Siderurgia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Carvao_Vegetal_WEB_02102015_10225.PDF>. Acesso em: 19 dez. 2022.

CABRAL, E.G. **Análise multitemporal da silvicultura no estado de Goiás via sensoriamento remoto**. 2017. 88f. (Dissertação de Mestrado em Agronegócio). Universidade Federal de Goiás. 2017.

CAIXETA-FILHO, J. V. Especificidade das modalidades de transporte para a movimentação de produtos agrícolas. In: CAIXETA-FILHO, J. V.; GAMEIRO, A. H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. cap. 3, p.11-20.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no Estado do Tocantins**. 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo - ESALQ, Piracicaba, 2008.

DIAS, R. R.; MATTOS, J. T. Zoneamento ecológico- econômico no Tocantins: comparação de resultados usando um mesmo método em diferentes datas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 4, n. 61, p. 351-365, 2009.

DUARTE, F. A.; COLLICCHIO, E. Desafios e perspectivas do cultivo do eucalipto para fins energéticos no Estado do Tocantins. **Liberato**, Novo Hamburgo, v. 21, n. 35, p. 15-26, jan./jun. 2020.

DUARTE, F. A. **Qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* plantados no Estado do Tocantins**. 2020. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TTEucalipto.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

FIGUEIREDO, M. E. O. et al. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p.420-431, 2018.

FITZ, P. R. Uso de geotecnologias para o planejamento espacial. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 2, p. 307-318, mai./ago. 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 120 p. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/41495/pdf/1>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Visão Agrícola**. n. 4, jan./dez., 2005. Disponível: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va04-florestas-plantadas03.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

HORA, A. B. Análise da formação da base florestal plantada para fins industriais no Brasil sob uma perspectiva histórica. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 42, p. 383-426, set. 2015.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2019**. São Paulo. 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2020**. São Paulo. 2020. 122p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2023.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual IBÁ 2022**. São Paulo. 2022. 87p. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da extração vegetal e da silvicultura - PEVS, 2019**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?edicao=18032&t=publicacoes>>. Acesso em: 16 set. 2022.

LEITE, J. R. M. (Coord.). **Manual de direito ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2015.

MIYAJIMA, R. H. et al. A influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do *feller buncher*. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 44, n. 110, p. 443-451, 2016.

MOTA, F. C. M. **Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de *Eucalyptus* sp. no Brasil**. 2013. 169 f. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13240/1/2013_FabriciaConceicaoMenezMota.pdf>. Acesso em: 2 set. 2022.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. de. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p.85-94, 2017.

OE, Revista OE. Suzano inaugura fábrica em Imperatriz (MA). **Revista OE**. 21 mar. 2014. Suzano Papel e Celulose. Disponível em: <<https://revistaoe.com.br/suzano-inaugura-fabrica-em-imperatriz-ma/>>. Acesso em: 10 set. 2022.

PAZ, L. R de S.; DIAS, R. R.; UHLMANN, A.; COLLICCHIO, E. Análise ambiental da expansão de florestas plantadas no extremo norte do Tocantins. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 44-45. 2020.

PRADO, H. **Pedologia fácil**: aplicações na agricultura. Piracicaba, 2007. 105 p.

RANIERI, S. B. L.; BARRETO, A. G. O. P.; KLUG, I. L. F. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão. In: Pólo Nacional de Biocombustíveis. **Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão**: vantagens competitivas e comparativas. Piracicaba: ESALQ, 2007. cap.1, p. 1- 69.

SILVA, L. A. G. C. **Biomassas presentes no Estado do Tocantins**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007. Disponível em: < http://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1424/biomassas_tocantins_silva.pdf?sequence=1>. Acesso em: 4 jan. 2023.

SIMIONI, F. et al. Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 731-742, 2017.

SINOBRAS. **Sinobras - Siderúrgica Norte Brasil, 2020**. Disponível em: < <http://www.sinobras.com.br/index.php/institucional/sinobras-florestal>>. Acesso em: 2 out. 2021.

SOUZA, O. M. M. **Aptidão agroclimática e ambiental de *Eucalyptus urophylla* para a região do MATOPIBA**. 2017. 91 f. Dissertação (Pós- graduação em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2017.

TEIXEIRA, J. L.; GALVÍNCIO, J. D. Uso de geotecnologias para a caracterização física espacial da Bacia Hidrográfica do Grupo de Pequenos Rios Litorâneos (GL2) / PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 132-138. 2010.

THORTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104 p.

TOCANTINS. Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Estado do Tocantins. **Diagnóstico dos plantios florestais do Estado do Tocantins**. Palmas: SEAGRO, 2015. 41 p.

____Secretaria de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins. **Zoneamento Ecológico- Econômico do Estado do Tocantins**. Palmas: SEPLAN, 2017. 370 p.

____Secretaria Estadual do Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins. **Plano de Zoneamento Ecológico do Norte do Estado do Tocantins**. Palmas: SEPLAN, 2004. 206 p.

____Secretaria Estadual do Turismo do Estado do Tocantins. **Bico do Papagaio**. Palmas: SECOM, 2019.

USGS. Seamless Data Distribution. **Shuttle Radar Topographic Mission – SRTM**. Disponível em: <<http://seamless.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

VIENA SIDERÚRGICA. **Nosso produto**. Site oficial. 2020. Disponível em: <<https://vienairon.com.br/siderurgia/nosso-produto/>>. Acesso em: 12 set. 2022.