



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estoque de Biomassa Lenhosa no Pólo Gesseiro do Araripe

Radmila Bispo Machado, Marcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo, Claudemiro de Lima Junior

Universidade de Pernambuco. Autor correspondente e-mail: radmilamachado@gmail.com

Artigo recebido em 08/06/2023 e aceito em 15/11/2023

RESUMO

O Pólo Gesseiro do Araripe – PGA é responsável por cerca de 97% da produção brasileira de gesso. A produção de gesso e extração de gipsita tem provocado vários impactos ambientais relacionados ao processo de calcinação e a matriz energética que é suprida em sua grande parte pela lenha de espécies nativa da Caatinga. Esse trabalho tem como objetivo analisar a atual situação da oferta de biomassa florestal nos municípios que compõem o PGA, em consonância com a demanda deste insumo na indústria de gesso da região, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e modelos de metodologias de estimativa de biomassa florestal aplicados em área de caatinga que correlacionaram índices de vegetação e a alometria das plantas. Investigar também as possíveis fontes de energia renovável alternativas ao processo de calcinação, adaptáveis a cadeia de produção de gesso do Araripe, por meio de uma revisão sistemática utilizando a metodologia PRISMA. O resultado da estimativa de biomassa lenhosas nos municípios que compõem o Pólo Gesseiro do Araripe foi de 17 milhões de estéreos, contudo, aproximadamente 8 milhões de estéreos correspondem a área de preservação ambiental de APA do Araripe. No que se refere as possíveis fontes energéticas alternativas ao processo de calcinação, adaptáveis a produção de gesso no Araripe, destacou-se a tecnologia de radiação solar concentrada, implementado por heliostatos.

Palavras-chave: energia renovável, sensoriamento remoto, biomassa, Araripe.

Woody Biomass Stock in the Araripe Plaster Pole

ABSTRACT

The Araripe Plaster Pole – PGA is responsible for around 97% of Brazilian plaster production. The process of gypsum extraction and gypsum production has caused several environmental impacts related to the calcination process and the energy matrix that is mostly supplied by firewood from species native to the Caatinga. This work aims to analyze the current situation of forest biomass supply in the municipalities that make up the PGA, in line with the demand for this input in the gypsum industry in the region, using remote sensing techniques and models of methodologies for estimating forest biomass applied in caatinga area that correlated vegetation indices and plant allometry. And also investigate the possible sources of alternative renewable energy to the calcination process, adaptable to the Araripe gypsum production chain, through a systematic review. The result of the estimate of woody biomass was 17 million stereos in the region in the municipalities of the plaster pole, however, approximately 8 million stereos correspond to the area of environmental preservation. With regard to possible alternative energy sources to the calcination process, adaptable to the production of gypsum in Araripe, the technology of concentrated solar radiation, implemented by heliostats, stood out.

Keywords: renewable energy, remote sensing, biomass, Araripe.

* E-mail para correspondência: claudemiro.lima@upe.br
(Lima Júnior, C.).

Introdução

No Brasil e no mundo, a mineração é uma atividade econômica de destaque, sendo responsável pela geração de emprego, renda e desenvolvimento de uma região. Esta prática consiste na extração de riquezas minerais dos solos, de estruturas e de formações que compõem a superfície da terra (Victor & Alcandra, 2017). Em contrapartida, toda extração mineral gera grandes impactos ambientais, e, para o desenvolvimento responsável de uma região, é essencial que o uso dos recursos minerais esteja pautado na sustentabilidade (Santos et al., 2019).

Um dos desafios da sociedade contemporânea é manter a relação entre a ecologia e o desenvolvimento econômico de maneira a diminuir o aspecto cada vez mais predatório na natureza (Carvalho, 2019). A mineração, a agropecuária e a indústria estão entre as atividades econômicas que apresentam maior impacto ao meio ambiente (Novaes Jr., 2012). E, um dos principais problemas ambientais associados a essas atividades está relacionado ao consumo de energia e de recursos naturais.

No Brasil, a mineração é responsável por 4% do Produto Interno Bruto – PIB, e dentre os recursos minerais que são extraídos em território nacional, destaca-se a mineração de gipsita, utilizada na indústria do gesso em Pernambuco (Prado et al, 2021). O Pólo Gesseiro do Araripe - PGA, localizado em Pernambuco, é responsável pela produção de 79,7% do gesso produzido no Brasil. Essa região possui depósitos de minério gipsita, matéria bruta do gesso, que alcança um alto grau de pureza, e tem reserva estimada de 198.576.316 Mt (DNPM, 2018).

Mesmo sendo uma atividade de destaque para o desenvolvimento econômico local, a extração de gipsita no PGA gera perdas na biodiversidade, na fertilidade natural do solo e interferência nos recursos hídricos (Prado et al, 2021), sendo responsável por várias transformações locais e impactos ambientais, que vão desde a geração de rejeitos na fase de exploração do minério até o lançamento de particulados na atmosfera na fase de beneficiamento. Soma-se a esse processo, a intensa devastação do bioma Caatinga, que está relacionado ao uso da madeira nativa local como principal recurso energético nos fornos das calcinadoras das empresas produtoras de gesso que compõem o Pólo (Santos et al, 2019).

O uso da madeira nativa tem ocasionado a redução de biomassa florestal e potencializado o

risco de desertificação do bioma (Santos et al, 2019). Essa problemática se mostra como um dos principais gargalos da cadeia produtiva do gesso do Pólo Gesseiro do Araripe, podendo sobretudo inviabilizar a produção de gesso da região (Granja et al, 2017).

Algumas metodologias de estimativas de biomassa na caatinga têm sido aplicadas em regiões de caatinga (Alves Jr., 2010; Sampaio et al, 2015; Lima Jr. et al, 2014; Luz et al. 2021), que, devido aos baixos índices de precipitação pluviométrica é caracterizada por uma grande variação espacial e sazonal, em média de 30 a 50 t.ha⁻¹ (Sampaio & FREITAS, 2008).

Estimativas de biomassa podem ser feitas com uso de métodos diretos e indiretos. As medições diretas são mais precisas, contudo, necessitam do corte de árvore para obtenção dos dados, o que reflete no alto custo e requer tempo (Luz et al. 2021). Já o método indireto, ou não destrutivo, pode ser feito pela relação da biomassa com a alometria das árvores, por meio da aplicação de equações alométricas, que permitem a realização de estimativa de biomassa sem derrubada das plantas, o que implica em menor dano ambiental (Lima Jr. et al, 2014). Medições indiretas podem ser feitas também relacionando os valores de reflectância obtidos em imagens de satélite com a biomassa estimada com o uso de equações alométricas.

Essa combinação possibilita o desenvolvimento de metodologias de modelos de estimativa de biomassa (Ferraz et al., 2014), que utilizam técnicas de sensoriamento remoto e permitem medir grandezas que estão relacionadas, por exemplo, com a vegetação (LOPES et al., 2020). Nesse sentido, os índices de vegetação, são operações matemáticas realizadas entre as bandas de uma imagem de satélite, que buscam explorar o comportamento espectral da vegetação e realçar determinadas características das plantas, e que, a partir do uso de mapeamento é possível gerar modelos de quantificação de biomassa, detecção de anomalias e análise da degradação da vegetação (LIU et al., 2019).

Embora tenham sido encontrados trabalhos que abordaram cálculos e análises de índices de vegetação em algumas cidades do polo gesseiro do Araripe, as análises encontradas não tratam de estimativa de biomassa local, assim como também não foram encontrados registros de análises que englobem todas as cidades produtoras de gesso e gipsita de Pernambuco. Assim sendo, estimar a biomassa lenhosa de toda a região do Pólo Gesseiro

do Araripe, possibilitará a análise da reserva energética atual da região, simular de cenários de manejo e prever o tempo que essa reserva estimada poderá atender a demanda do setor de gesso.

Esta pesquisa tem como objetivo realizar uma estimativa da atual biomassa florestal lenhosa na região do Pólo gesso do Araripe e da Área de Proteção Ambiental – APA do Araripe, utilizando modelos de estimativa de biomassa florestal aplicados em área de caatinga que correlacionam índices de vegetação e equações alométricas.

Material e métodos

Para a realização do trabalho, a área de estudo foi dividida em duas: Região do Pólo

Gesseiro do Araripe e Área de Proteção Ambiental - APA do Araripe, que foram analisadas individualmente.

A Figura 1 apresenta o fluxograma do percurso metodológico cumprido para estimar a reserva atual de biomassa lenhosa da Região do Pólo Gesso do Araripe, e abordar a correlação entre os parâmetros de biomassa obtidos com a atual demanda energética do setor de gesso da região.

Ao final do passo 09 do fluxograma, a estimativa da biomassa referente à Área de APA da região do Araripe foi realizada utilizando o modelo de estimativa validado no passo 06.

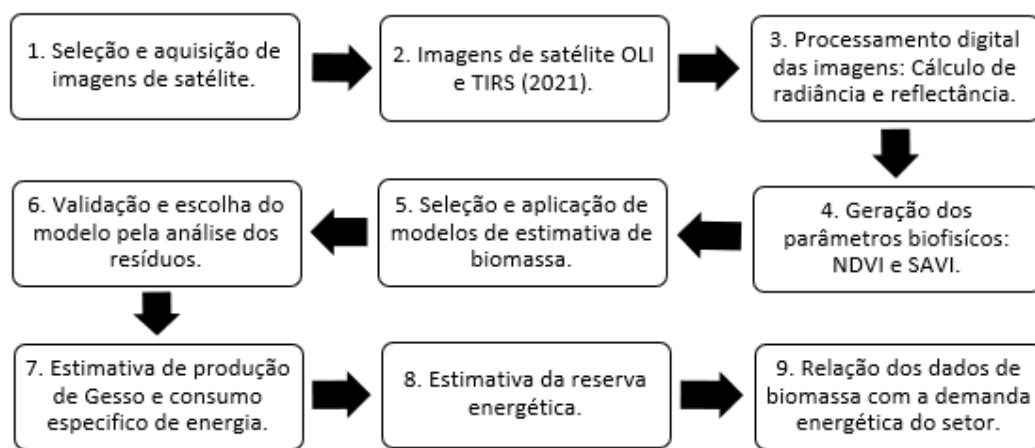


Figura 1: Fluxograma do percurso metodológico

Caracterização das áreas de estudo

A área da Região do Pólo Gesso do Araripe (Figura 2), compreende as cidades de Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade. Que, de acordo com a Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa Condepe/Fidem ADENE/ATECEL, são os municípios produtores de gipsita e gesso na região do Araripe, em Pernambuco. Esse território está localizado na mesorregião do Sertão de Pernambuco, no epicentro do Nordeste, ocupando uma área de aproximadamente 11.546,77 Km² (IBGE, 2021).

O Polo Gesso do Araripe, encontra-se inserido no Bioma Caatinga, classificado como Savana Estépica. Nessa região são identificados oito diferentes tipos de solos: Latossolos Amarelos (LA) e Vermelho (LVA), Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) e Argissolos Vermelhos (PV) Neossolos Flúvicos (RU), Litólicos (RL) e Quartzarênicos (RQ) e Vertissolos (VX). Os solos

do tipo Neossolos Litólicos ocupam a maior extensão (38,46%) (EMBRAPA, 2006).

O clima da região é classificado como quente e semiárido, com temperaturas elevadas e médias anuais que não possui grande amplitude, situadas entre 22 e 26 °C, e os índices de precipitação variam entre 400 e 500 mm (IBGE, 2018). Os dados de precipitação referentes ao ano de 2021, foram obtidos no site do IPA e nortearam a escolha das imagens utilizadas na pesquisa.

A área de APA da Chapada do Araripe (Figura 2), está localizada entre os paralelos 7°00'00'' e 7°50'40'', na latitude Sul, e os meridianos 38°57'09'' e 40°53'02'', na longitude Oeste e compreende uma área territorial de 10.424,9574 km². Abrange porções dos Estados de Pernambuco, Piauí e do Ceará. (SECTMA, 2007). Apresenta clima semiárido, com índice de precipitação anual superior a 1000mm e vegetação de cerrado, carrasco e caatinga (SECTMA, 2007).

A área de APA considerada na estimativa de biomassa desta pesquisa, corresponde a porção

da APA que se encontra nos municípios que compõem o Pólo Gesseiro do Araripe, indicado na Figura 2 e ilustrado na Figura 3. Esta área, recorta

uma porção referente à 06 municípios do Pólo Gesseiro: Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Moreilândia e Trindade.

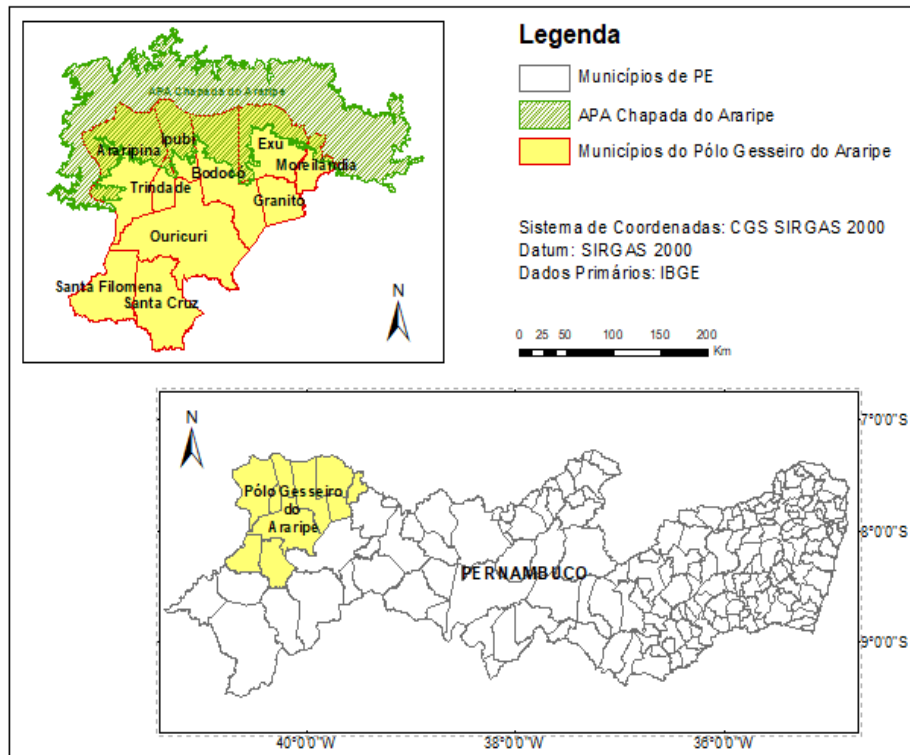


Figura 2: Mapa de localização do Pólo Gesseiro do Araripe e da APA Chapada do Araripe

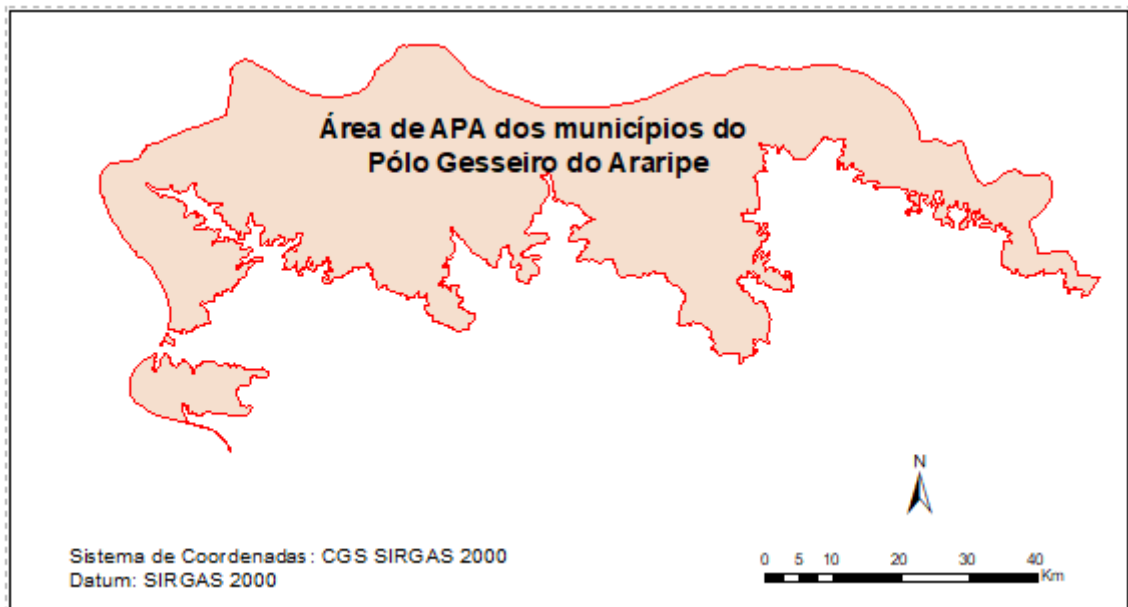


Figura 3: Área de APA dos municípios do Pólo Gesseiro do Araripe.

Seleção, aquisição e processamento das imagens

A escolha do sensor e a aquisição das imagens referentes a área de estudo seguiram

alguns critérios de seleção. A priori, foram avaliadas a confiabilidade do satélite e a disponibilidade das imagens na área elegida,

buscando-se selecionar as que apresentassem menor presença de nuvens.

A seleção considerou também a data que melhor representasse com um período pós chuva em todos os municípios, que também coincide com o período de rebrotamento das folhagens da vegetação.

O segundo passo foi a análise das características de resoluções do satélite que melhor se enquadrasse com o objetivo proposto neste trabalho. Dessa forma, avaliou-se: (i) a resolução espectral, relacionada ao número de bandas ou intervalos do espectro eletromagnético disponíveis do satélite; (ii) A resolução espacial, referente a dimensão da superfície terrestre que é representada pelo pixel da imagem; (iii) A resolução temporal, que diz respeito a frequência de passagem do sensor, e por fim, (iv) a resolução radiométrica, relativa a capacidade que o sensor tem de distinguir

diferentes níveis de cinza, ou seja, diferentes objetos (Zanotta et al., 2019).

Com auxílio das análises supracitadas, foram escolhidas as imagens do sensor OLI (Thematic Mapper Operacional Land Imager) e o TIRS (Thermal Infrared Sensor), do satélite Landsat 8 e 9, adquiridas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (www.inpe.br). As imagens selecionadas são referentes a data de 10/08/2021, das órbitas (217 ponto 65 e 217 ponto 66).

As imagens são compostas por 11 bandas espectrais, sendo elas: Pancromático P&B: Banda 8; Multiespectral: Bandas 1-7 e 9; Termal: Bandas 10-11, com resolução espacial de 30, 15 e 30 metros respectivamente (Tabela 1), resolução radiométrica de 12 bits e resolução temporal de 2 dias. Em virtude deste trabalho não realizar estudos na região do termal, as bandas 9, 10 e 11 não foram utilizadas.

Tabela 1: Características espectrais do Landsat 8.

Bandas	Comprimento de onda (μm)	R esolução
1. Ultra azul (costas/aerosol)	0.43-0.45	3
2. Azul	0,45-0.51	0
3. Verde	0.53-0.59	3
4. Vermelho	0.64-0.67	0
5. Infravermelho Próximo (NIR)	0.85-0.88	3
6. Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR1)	1.57-1.65	0
7. Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR2)	2.11-2.29	3
8. Pancromático	0.50-0.68	0
9. Cirrus	1.36-1.39	3
10. Termal (TIRS) 1	10.60-11.19	0
11. Termal (TIRS) 2	11.50-12.51	3
		0
		1
		5
		3
		0
		1
		00*(30)
		1
		00*(30)

Os mapeamentos e processamento de todos os dados vetoriais e matriciais foram realizados no SIG ArcGIS Pro (Licenciado para o Laboratório de Desenvolvimento Seguro e Sustentável – LabDess da Universidade de Pernambuco), iniciando-se com a criação de um projeto e a adição dos planos de informações abrangendo a área de estudo e

adjacências ajustados, quando necessário, no sistema de coordenadas geográficas (latitude e Longitude), Datum WGS84.

Com objetivo de corrigir nas imagens obtidas os erros na geometria e nos valores digitais registrados para os pixels, foram realizados alguns

procedimentos computacionais para sua compensação.

Para as distorções geométricas, resultantes do movimento de rotação da terra, de sua curvatura, de variações na órbita do sensor e de efeitos do relevo, foi utilizada como referência o modelo matemático da representação da superfície da terra, o DATUM WGS84.

Já para a correção nos Números Digitais - ND registrados no sensor para os pixels, é necessária uma padronização desses valores, convertendo-os para valores físicos (Zanotta et al., 2019).

A correção radiométrica foi realizada para converter os valores de números digitais em radiância e, em seguida para reflectância, tendo em vista que a radiância não é o parâmetro mais recomendado para analisar as propriedades espectrais dos objetos, pois depende do nível de radiação que incide sobre o alvo (Zanotta et al., 2019).

Para as conversões radiométricas dos produtos gerados pelo sensor orbital foi utilizada a rotina apresentada no software R, que tem como objetivo realizar a conversão radiométrica de imagens Landsat 8 aplicando funções da biblioteca landsat8 para obter radiância (em $W/(m^2sr-1\mu m-1)$) e reflectância (adimensional) no topo da atmosfera das bandas 1 a 8.

A conversão dos dados DN para radiância, foi realizada usando expressão 1:

$$L_{\lambda} = (gain_{\lambda} * DN7) + bias_{\lambda} \quad (1)$$

Em que L_{λ} é a radiância calculada $W/(m^2sr-1\mu m-1)$, DN7 são os dados Landsat 7 ETM+ DN e o ganho e o viés são específicos da banda números, são fornecidos em Chander et al. (2009).

Para o cálculo da reflectância foi utilizada a expressão 2:

$$R_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{E_{sun,\lambda} * \sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Em que R_{λ} é a reflectância (adimensional), L_{λ} é a radiância calculada, d é a distância terra-sol (em unidades astronômicas), $E_{sun,\lambda}$ é a radiação específica de banda emitida pelo sol, e θ_{SE} é o ângulo da elevação solar. Os valores de $E_{sun,\lambda}$, são dados em Chander et al. (2009).

Foi realizada também a calibração atmosférica para diminuição do contraste entre objetos de uma mesma cena objetivando a redução da possibilidade de identificação de pequenos objetos ou a diferenciação entre objetos de uma cena como consequência dos efeitos da atmosfera nas imagens obtidas por sensoriamento remoto. Pois, existem alguns componentes presentes na atmosfera que influenciam na absorção da radiação eletromagnética que efetivamente chega a superfície da terra, por exemplo: o vapor d'água, oxigênio (O₂), ozônio (O₃) e o gás carbônico. Tais componentes barra uma parte da radiação antes de ocorrer a interação com os objetos que estão na superfície terrestre. (Welter et al 2020). Que pode ocasionar a diminuição do contraste entre objetos de uma mesma cena e reduzir a possibilidade a possibilidade de identificação de pequenos objetos possíveis

Para a execução da correção atmosférica foi gerado um arquivo único (stack), com todas as bandas (Tabela 3) a serem utilizadas, transformando-as num único arquivo do tipo geotiff.

A correção atmosférica exige que sejam inseridos os dados referentes às condições atmosféricas no momento da aquisição das imagens utilizadas para correção e dessa forma, transforma os números digitais em radiância espectral. Para a conversão é utilizada uma equação linear de calibração, descrita entre os números digitais e a radiância no sensor observada em cada banda (Pimenta et al., 2013). A validação do resultado da correção atmosférica foi realizada através da observação das curvas de assinatura espectral (antes e depois da correção) de alvos conhecidos presentes na imagem, através do software ArcGis 10.2.3.

Seleção de modelos de estimativa de biomassa florestal da caatinga por sensoriamento remoto

Com relação a cobertura vegetal, existem algumas formulações matemáticas que se relacionam com seus parâmetros biofísico, como exemplo, os índices de vegetação. Vários índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação e destacar suas características, como biomassa e índice de área foliar. A Tabela 2 apresenta os principais índices utilizados na literatura.

O comportamento espectral da vegetação é caracterizado por uma baixa reflectância na região do visível, ocasionada pela absorção da radiação

das substâncias fotossintetizantes. Já na região do infravermelho próximo, a vegetação apresenta alta reflectância, proveniente do espalhamento da radiação no interior das folhas, e volta a diminuir no infravermelho médio. Por isso, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma

determinada área, menor será a sua reflectância na região do visível e maior será a sua reflectância no infravermelho próximo. Em outras palavras, pode-se dizer que a vegetação saudável terá baixa reflectância no vermelho e alta no infravermelho próximo (Zanotta et al., 2019).

Tabela 2: Exemplos de índices de vegetação aplicados na literatura.

	Índices de vegetação	Equação	Referência
	Razão Simples	NIR/RED	Jordan
R	Índice de Vegetação por diferença Normalizada	$\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	(1969)
DVI	Índice por Vegetação Melhorado	$2,5 * (NIR - RED)$	Rouse et al. (1973)
VI	Índice por Vegetação Ajustado ao Solo	$\frac{(NIR + 6RED - 7,5BLUE)}{(NIR - RED) * (1 + L)}$	Justice et al. (1998)
AVI		$\frac{NIR + RED + L}{2}$	Huete (1988)

*NIR = Faixa do infravermelho próximo; RED = Banda do vermelho; BLUE = faixa do azul.

Os modelos de metodologias de estimativas de biomassa florestal, são formulados relacionando os índices de vegetação e a biomassa estimada com

equações alométricas. Nesse sentido, foram selecionados na literatura, metodologias de estimativa de biomassa que foram aplicados em área de caatinga (Tabela 3).

Tabela 3: Metodologias de estimativa de biomassa florestal selecionadas.

Mod elo	Equação	Referência
1	$Bio = -36.08 + 121,29 * NI$	Lima Jr. et al, 2014
2	$Bio = -46.44 + 142.64 * NI$	Luz et al, 2021
3	$Bio = -49.38 + 307.21 * SA$	Luz et al, 2021
4	$Bio = -50.35 + 257.47 * SA$	Luz et al, 2021

Cálculo dos parâmetros biofísicos NDVI e SAVI

Assim, feita as correções radiométrica e atmosférica descritas no item 3.2.3, foram calculados os índices de vegetação Índice por Diferença Normalizada (NDVI) e o índice de Vegetação por Diferença Ajustado pelo Solo (SAVI) utilizando as equações da Tabela 2. E em seguida, de posse dos valores dos índices NDVI e SAVI, foram aplicadas as fórmulas descritas pelas 04 (quatro) Metodologias de estimativa de biomassa florestal que foram selecionadas na literatura (Tabela 3).

O mapa de classificação do uso e cobertura da área de estudo, foi elaborado a partir de técnicas variadas partindo do processo de composição, cor natural 4R; 3G; 2B seguido da técnica de fusão de imagem - Pan *Sharpening* - da banda 8 que consiste, basicamente, em integrar a melhor resolução espacial de 15 metros da banda pancromática preservando o conteúdo e a cor da imagem composta. O método de classificação do uso e cobertura da terra empregado foi o híbrido iniciando-se pela classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança (MAX-VER) seguido da conversão em vetor e correção de polígonos com base na imagem composta/fusionada.

As classes de uso e cobertura da terra foram definidas com base no Manual Técnico da Embrapa, adaptadas ao objeto de estudo, sendo: 1) Água; 2) Solo exposto; 3) Vegetação rala; 4) Vegetação semi-densa; 5) Vegetação densa. De posse dos dois produtos principais foi realizado, em ambiente SIG, a elaboração de mapas e análises estatísticas obtendo valores para cada classe de uso e cobertura da terra nos intervalos normalizados de 0-0,02; 0,02-0,13; 0,13-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-1,0.

Estimativa de produção de gipsita e gesso

Na região do APG, foram contabilizadas cerca de 140 indústrias de calcinação e 600 fabricantes de pré-moldados, que geram 13,8 mil empregos diretos e 69 mil indiretos. (MPT-PE, 2019). Segundo dados da ANM/PE (2018), a produção brasileira de gipsita bruta entre os anos 2012 - 2017 variou de 3,7 - 2,1 Mton (Tabela 4).

Considerando que o APG é responsável por 79,7% da produção de gipsita nacional (ANM/PE, 2018), e que 80% da gipsita produzida é convertida em gesso (Campello, 2011), pode-se estimar a produção de gipsita e gesso do Araripe.

Tabela 4: Produção brasileira de Gipsita bruta.

no	Produção brasileira Gipsita (Mton)*	Estimativa Produção Gipsita no Araripe (Mton) **	Estimativa de Produção Gesso no Araripe (Mton) **
	3,7	2,9	2,4
012	3,3	2,6	2,1
	3,4	2,7	2,2
013	3,1	2,5	1,9
	2,6	2,1	1,7
014	2,1	1,7	1,3
015			
016			
017			

*Dados extraídos do ANM/PE **valores estimados de produção.

Por outro lado, segundo dados da SINDUSGESSO, Sindicato da Indústria do Gesso de Pernambuco, a produção na região do Araripe chega a atingir cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso por ano, produzidas a partir da extração de 15 milhões de toneladas de gipsita. O que mostra uma considerável discrepância entre valores registrados na Agência Nacional de Mineração e os valores informado pelo Sindicato.

Essa discordância nos valores de produção, é justificada pela grande informalidade existente no setor. Por isso, os dados de produção são muito controversos, e revelam uma deficiência nas informações (BRASIL, 2012; Henriques, 2013).

Serão considerados nesta pesquisa, para fins de cálculo, os dados de produção de gesso e gipsita informados pelo SINDUSGESSO.

Estimativa do consumo específico de lenha

Nas calcinadoras as pedras de gipsita são fragmentadas em pedaços ainda menores e direcionados aos fornos para que ocorra a calcinação, que se dá durante cerca de uma hora a uma temperatura entre 150 e 160°C. Nesse

processo, o consumo específico de lenha que varia entre 0,5 a 0,8 st.ton-1 de gesso produzido, verificados quando não são utilizadas medidas de recuperação de calor (Henriques, 2013).

O consumo específico varia de acordo com o tipo de madeira que está sendo utilizada. Campello (2013) demonstrou, num estudo que envolveu espécies do tipo lenha da chapada, algaroba, lenha do sertão e poda de caju, que os fornos do tipo “barriga quente” predominantemente usado na região, consome em média 0,49 st.ton-1 de gesso produzido (Campello, 2013).

Sendo assim, diante de uma produção de 4,5 milhões de toneladas de gesso por ano, e um consumo específico de 0,49 st.ton-1 de gesso produzido, seriam necessários 2.205.000 st/ano de lenha para abastecer a demanda anual e exclusiva para as empresas calcinadoras do Polo gesseiro do Araripe.

Por outro lado, também não é raro encontrar estudos que mostram dados subestimados de consumo específico de lenha do setor. Como em Gadelha (2014), onde estima-se que, anualmente, o Polo Gesseiro do Araripe

consoma 652.680 m³ de lenha, ou 978.530,73 em estêreo de lenha, aproximadamente menos da metade do valor estimado com uso dos dados informados pela SINDUSGESSO para esse mesmo ano.

Nessa pesquisa serão considerados uma produção anual de 4,5 milhões de toneladas de gesso, um consumo específico de lenha de 0,49 st.ton-1 de gesso produzido e uma demanda anual de 2.205.000 st/ano. Esses dados além de estarem em conformidade com os dados informados pela SINDUSGESSO, corroboram com a previsão feita em 2005 pelo SECTAMA, de 1.907.554 st de consumo anual na região do Pólo gesseiro.

É importante destacar que o peso médio do metrô estêreo varia conforme o tipo de madeira utilizado na fornada, como também pelo formato irregular de algumas espécies. Em um estudo realizado por Campello, (2013), em 13 empresas do Pólo Gesseiro, os valores de peso médio do metrô estêreo apresentam variação entre 181kg/st a 245kg/st, quando combinadas dois tipos de lenha, 388kg quando utilizado apenas lenha da chapada e 133,3kg quando utilizados apenas poda de caju. O

maior peso do estere medido foi obtido com plantados de eucalipto, onde foi encontrado um peso médio por estere de aproximadamente 410kg (Gadelha, 2010).

Para comparação dos dados obtidos de estimativa biomassa obtidos em toneladas por hectare (t.ha-1), foi realizada a conversão dos dados para as mesmas unidades. Sendo considerado a área expressa em hectares (ha) e o volume em estêreo (st). E, para a conversão dos valores de tonelada para estêreo, quando necessários, foram utilizados os fatores de conversão da espécie eucalipto.

Resultados e discussão

A Figura 4, mostra o resultado do mapa de classificação do uso e cobertura do solo, classificados como água índices variando entre 0-0,02, solo exposto índices entre 0,02-0,13, vegetação rala, índices entre 0,13-0,2, vegetação semi-densa, índices entre 0,2-0,3 e vegetação densa com índices entre 0,3-1,0.

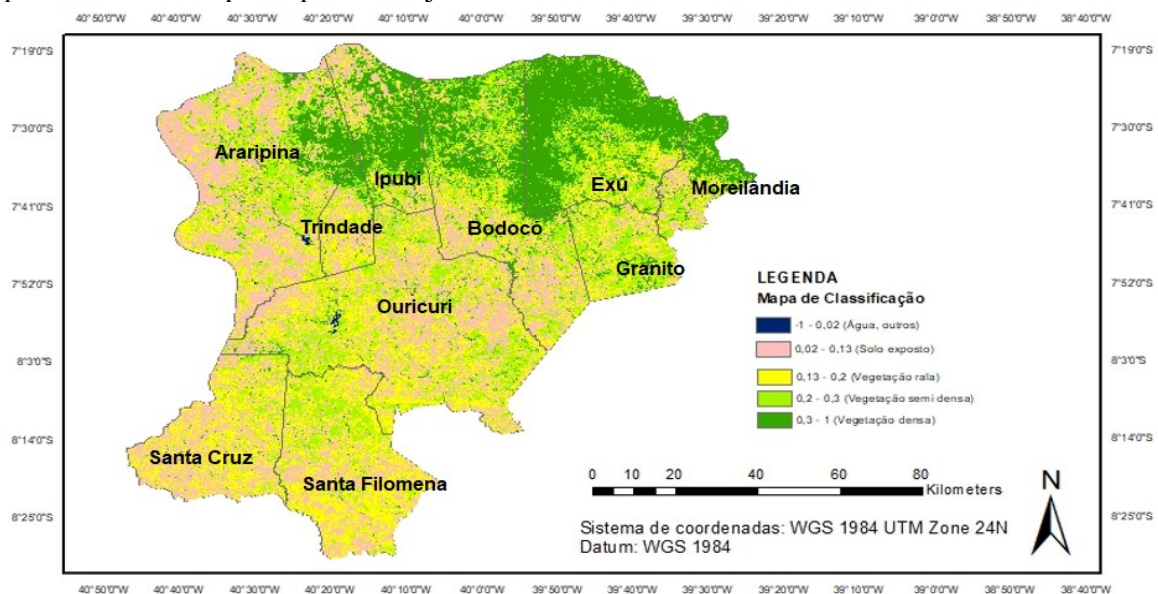


Figura 4: Mapa de classificação do uso e cobertura do solo

Analisando o mapa de classificação do uso e cobertura do solo, vemos que os municípios de Exú, Bodocó e Ipubi apresentaram NDVI acima de 0,3. Esse índice apresentou comportamento similar aos resultados obtidos em Damasceno (2020), que obteve nos municípios de Trindade e Ipubi valores de NDVI entre 0,401 e 0,600, para o ano de 2018. Outro estudo que corrobora os índices obtidos, foram observados em Galvêncio (2011), que

encontrou nessa região, um NDVI variando de 0,3885 a 0,8070 na cobertura vegetal mais densa.

De forma semelhante, em outra análise feita no alto Chapada do Araripe, no período de julho, agosto, setembro e outubro, apresentaram NDVI médio de 0,61 entre os anos de 2007 a 2011. Com valores médios predominantes em torno de 0,69 para a área de floresta nativa densa, 0,35 para áreas de floresta nativa rala e 0,17 para área de solo nu (Silva, 2013).

Os valores de NDVI encontrados entre -1 e 0,02, representam os reservatórios de água da região (Açude Tamboril e Algodões) nos municípios de Ouricuri e Araripina, conforme identificado por Sá et al. (2011) e Damasceno (2020), que também encontraram valores de IVDN abaixo de 0 para essa classificação.

Nas metodologias de estimativa de biomassa escolhidas, foram utilizados os índices NDVI e SAVI. Por isso, a fim de identificar as diferenças entre os modelos, a Figura 8 ilustra os mapas temáticos gerados pelos índices SAVI E NDVI. Importante destacar que, o NDVI produz um índice de vegetação espectral que separa a vegetação verde do brilho do solo. Já o SAVI é uma adaptação do NDVI para minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, considerado um

fator importante quando se trata de regiões semiáridas (Rêgo et al., 2012).

Os resultados gerados nos mapas apresentaram resultados aproximados, representando de forma satisfatória o comportamento da vegetação na região estudada.

Com uso dos mesmos parâmetros de classificação, ao analisar os mapas temáticos (Figuras 5 e 6), de modo geral, observa-se que o NDVI apresentou menores índices, quando comparado aos índices SAVI. Maiores índices correspondem a alvos com maior densidade de vegetação e refletiram em maiores valores de biomassa estimada. Os valores mínimos apresentaram maior diferença visual perceptível, pois, apesar de serem utilizadas as mesmas bandas no cálculo nos dois índices, o SAVI apresenta um fator de ajuste para o solo.

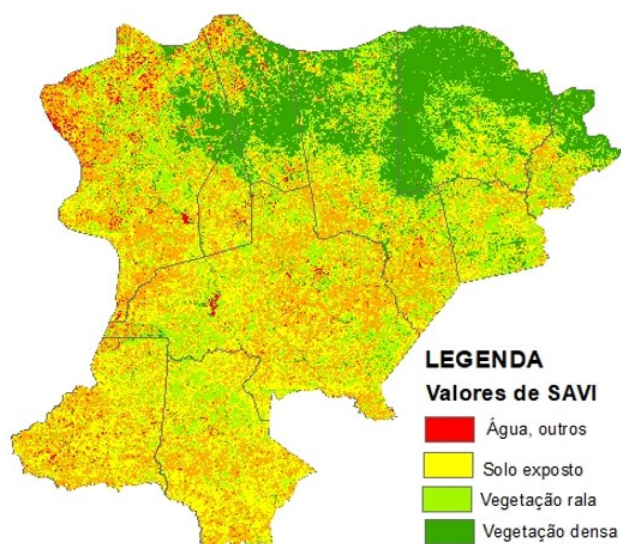


Figura 5: Mapa temático gerado pelo parâmetro NDVI.

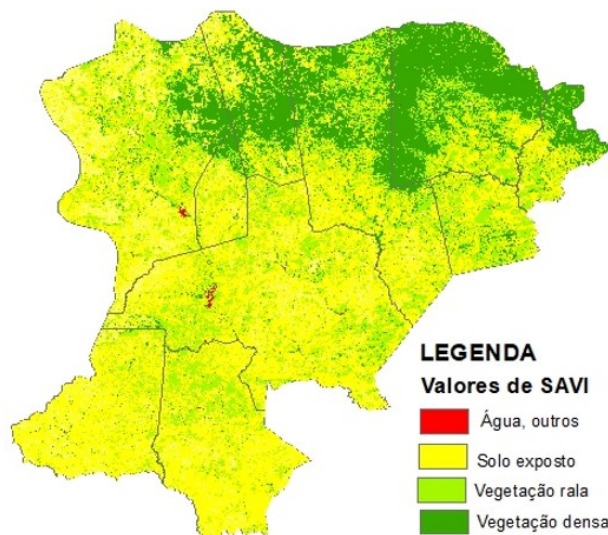


Figura 6: Mapa temático gerado pelo parâmetro SAVI.

Pela representação do mapa temático de NDVI da área de APA (Figura 7), vemos que esta região concentra os maiores índices, sendo a classe vegetação densa predominante.

A biomassa estimada em t.ha-1 nas parcelas de vegetação densa, vegetação semi-densa e vegetação rala, estão dispostos nas Tabelas 5 e 6.

De modo geral, os dados encontrados nos quatro modelos utilizados, apresentaram valores semelhantes aos dados de biomassa obtidos em Sampaio & Freitas (2008), Luz et al (2021), Lima Jr. (2014) e Nascimento (2019), para regiões semiáridas.

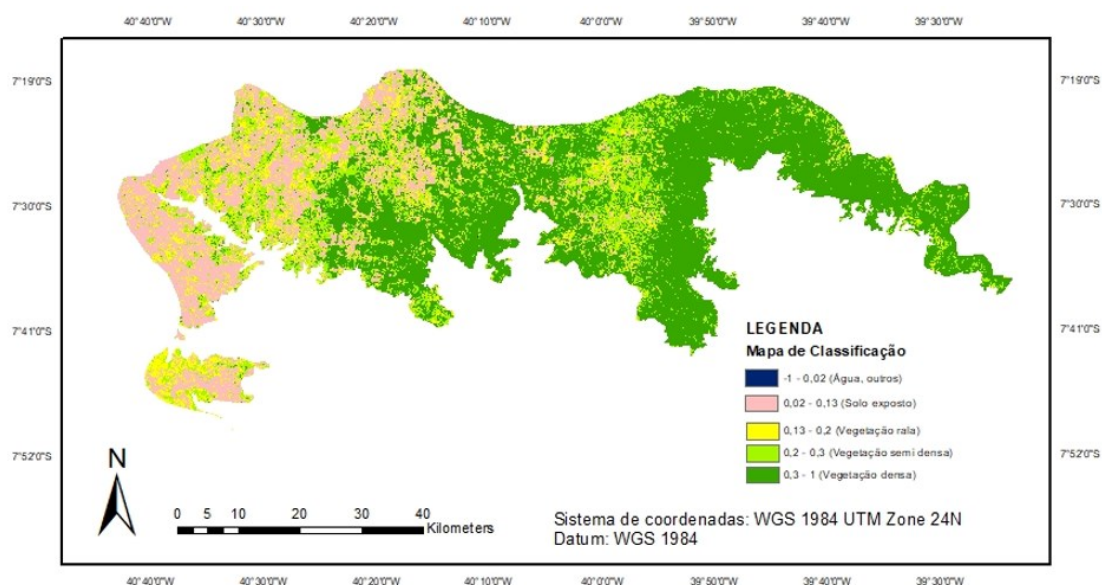


Figura 7: Mapa de classificação da APA.

Tabela 5: Dados de estimativa de biomassa encontrados dos modelos 1 e 2 com NDVI.

Ano	Uso do Solo	Modelo 1 (t.ha ⁻¹) 1)	Modelo 2 (t.ha ⁻¹) 1)
2021	Vegetação Densa	79,85	77,90
	Vegetação semi-	37,64	35,69
	densa	7,85	5,89
	Vegetação rala Solo exposto	-	-

Tabela 6: Dados de estimativa de biomassa encontrados dos modelos 3 e 4 com SAVI.

Ano	Uso do Solo	Modelo 3 (t.ha ⁻¹) 1)	Modelo 4 (t.ha ⁻¹) 1)
2021	Vegetação Densa	92,07	91,27
	Vegetação semi-	49,86	49,06
	densa	20,07	19,27
	Vegetação rala Solo exposto	-	-

Os dados apresentaram também uma acentuada variação entre as classes de vegetação densa e vegetação rara, mais evidente nos modelos 1 e 2, que variou de 7,85 t.ha⁻¹ a 79,85 t.ha⁻¹ para o modelo 1, e de 5,89 t.ha⁻¹ a 77,90 t.ha⁻¹, no modelo 2. Essa acentuada variação é relacionada a distribuição das chuvas em cada local.

Quando comparados aos valores de biomassa encontrados na literatura com uso de diferentes metodologias (Tabela 7), os dados obtidos apresentam valores próximos. A exemplo, observa-se em Accioly et al. (2008), valores de biomassa aérea de 5 t.ha⁻¹ associadas a áreas extremamente degradadas (desertificadas), e para as áreas mais preservadas de Caatinga,

apresentaram biomassa aérea superior a 20 t.ha⁻¹. Numa revisão de literatura, Sampaio e Freitas (2008) encontrou uma faixa de variação de 30-50 t.ha⁻¹. Nascimento (2019), realizou um estudo numa região semiárida de Pernambuco que abrangeu 122 municípios do estado de Pernambuco, encontrando no período pós chuva valores de biomassa que variaram entre 3,4 a 35,45 t.ha⁻¹.

Luz et al. (2021), encontrou valores de biomassa que variaram entre 6,88 a 123,82 t.ha⁻¹ em nove fragmentos florestais nativos preservados do semiárido brasileiro. Em específico, na cidade de Araripina, os valores encontrados foram de 15,19 a 41,63 t.ha⁻¹.

Tabela 7: Quantificação da biomassa da Caatinga com uso de diferentes metodologias.

Autor	Método	Biomassa (t.ha ⁻¹)
Accioly et al. (2008)	Sensoriamento remoto	5 - 20
Sampaio e Freitas (2008)	Revisão bibliográfica	30 - 50
Nascimento (2019)	Sensoriamento remoto	3,4 - 35,45
Lima Jr. (2014)	Sensoriamento remoto	5,93 - 60,74
Luz et al. (2021)	Sensoriamento remoto	6,88 - 123,82

Esse levantamento, mostra que os valores encontrados na literatura são semelhantes aos valores estimados pelos modelos escolhidos neste trabalho, sendo os modelos 1 e 2 os que apresentaram valores mais aproximados aos valores encontrados na literatura para regiões semiáridas.

Sendo assim, constatada a significância dos modelos usados na estimativa de biomassa, foi feita a análise dos resíduos, que representam o erro presente no modelo, realizada através do cálculo do desvio padrão para identificar qual modelo melhor

se ajusta as variáveis explicativas (independes). Os modelos 1 e 2 foram também os que apresentaram menor desvio padrão (Figura 8), sendo os valores de desvio para o modelo 1 ligeiramente menor.

Por isso, em virtude de o modelo 1 apresentar a melhor aderência aos dados, e possuir melhor aproximação de estimativa quando comparado aos dados de biomassa encontrados na literatura, este foi o modelo eleito para as análises dos dados de estimativa de biomassa e cálculo da estimativa da reserva energética.

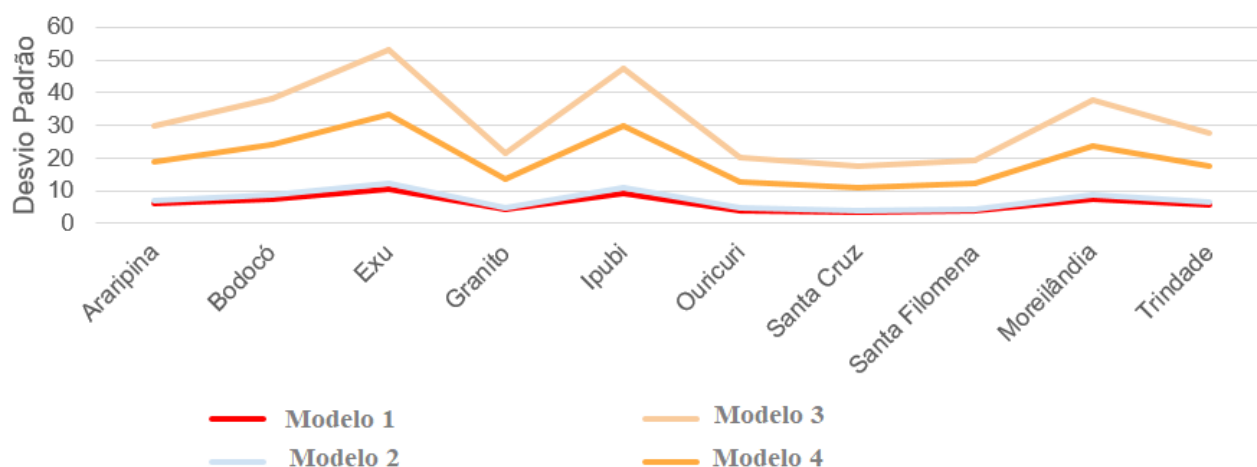


Figura 8: Análise dos resíduos através do cálculo do desvio padrão.

Os valores de biomassa estimados pelo modelo 1 proposto por Lima Jr. et al., (2014), estão dispostos na Tabela 8. Com o valor das áreas referentes a cada classificação foram obtidos na Região dos municípios do Pólo Gesseiro 10.328.912,57 toneladas de estoque disponível, ou 17.214.854,29 em estéreos. A quantificação da biomassa final foi realizada, considerando que 10% da biomassa aérea da caatinga é formada por folhas e galhos finos (Silva; Sampaio, 2008).

Essa reserva estimada mostra que, à medida que a indústria do gesso cresce, tendo como a lenha o principal recurso energético, o estoque da região reduz gradativamente. Fato esse comprovado quando comparamos esse estoque atual encontrado ao valor estimado pelo SECTMA no ano de 2007 de 83.810.227,43 estéreos (Tabela 9) (SECTAMA, 2007).

Tabela 8: Dados de estimativa de biomassa do Modelo 1.

Ano	Uso do solo	Modelo 1 (t.ha ⁻¹)	Áreas (ha)
2021	Vegetação Densa	79,85	46.732,0
	Vegetação Semi-	37,64	14.8814,0
	densa	7,85	273.176,0
	Vegetação rala	-	209.353,0
	Solo exposto	-	7.834,0
	Água	-	343.158,0
	Área urbana		

Tabela 2: Dados de estimativa de biomassa do Modelo

Municípios	Volume total em 2004 (st)
Araripina	9.624.579,03
Bodocó	6.752.777,43
Exu	13.034.100,55
Granito	3.690.559,75
Ipubi	4.491.462,76
Moreilândia	5.711.039,83
Ouricuri	17.834.837,44
Santa Cruz	12.650.326,95
Santa Filomena	9.032.442,75
Trindade	988.100,94
TOTAL	83.810.227,43

Fonte: Adaptado do SECTMA, 2007.

Considerando que a energia teórica gasta para se produzir 1kg de gesso é de 597,29KJ (Henriques, 2013), esse estoque seria suficiente para produzir 26.965.623,89 Toneladas de gesso. E, com relação ao tempo de suprimento, essa reserva poderá atender a demanda do setor de gesso, com segurança por um período de aproximadamente 8 (oito) anos, sem considerar o tempo de regeneração do bioma ou áreas de manejo.

Contudo, embora a grande maioria desse estoque possa ser utilizada como possíveis estoques para consumo, alguma dessas áreas encontram-se em locais de preservação ambiental.

Conforme análise da Figura 7, vimos que a área da APA é a região que concentrou os maiores valores de NDVI, nessa região os valores normalizados variaram de 0,12 a 0,91, e os valores de biomassa obtidos pelo modelo 1 na região foram de 5,35 a 85,21 t.ha⁻¹, o que resultou num estoque de biomassa de 8.1 milhões de estéreos, considerando também que 10% da biomassa aérea da caatinga é formada por folhas e galhos finos.

Isso significa que aproximadamente metade da reserva estimada na região dos municípios do Pólo Gesseiro encontra-se em área

de preservação ambiental e não estão disponíveis para fins energéticos.

A biomassa na área estudada apresentou variação na distribuição espacial, com valores máximos de 7,85 t.ha⁻¹ a 79,88 t.ha⁻¹, e a média de produtividade na classificação semi-densa foi de 37,64 t.ha⁻¹.

Considerando uma área com produção de 37,64 t.ha⁻¹, valor encontrado na classificação semi-densa, seriam necessários 8.461,6 ha/ano explorados com plano de manejo sustentado da vegetação com tempo de regeneração de 13 anos, que implica em uma área total de 110.000,8 ha de exploração florestal sustentável.

A SECTMA em 2007, ao avaliar a matriz energética da região do Pólo gesseiro e o seu consumo de energéticos florestais, concluiu que seriam necessários 12.680 ha/ano, explorados sob a forma de manejo florestal para atender o Pólo.

Conclusão

A região do Araripe, embora seja uma área de uso intensivo da lenha da Caatinga, pouco se sabe as quantidades de biomassa que são retiradas e recicladas e das partes das plantas utilizadas para esses diversos fins. Neste trabalho foi possível observar a ampla variabilidade de biomassa

lenhosa distribuída nas diferentes áreas de vegetação nas cidades que compõem o Pólo Gesso do Araripe e quantificar o estoque atual disponível para oferta energética.

Sendo possível relacionar a demanda energética do setor de gesso do Araripe aos parâmetros de biomassa obtidos, e prever por quanto tempo esse estoque abasteceria a região com segurança, sem considerar o tempo de regeneração do bioma e manejo sustentável.

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permitiu analisar e estimar a biomassa e a cobertura vegetal do Polo Gesso do Araripe de maneira eficiente, com valores semelhantes aos presentes na literatura para estudos realizados em regiões próximas e em condições similares. Os índices NDVI e SAVI apresentaram correlação positiva e significativa na estimativa de biomassa na região, contudo, os modelos que utilizaram NDVI apresentaram menores desvio padrão e melhor aderência aos dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDGP); Parceria estratégicas nos estados, apoio aos programas de pós-graduação emergentes e em consolidação em áreas prioritárias nos estados, edital nº 18/2020/CAPES MESTRADO.

Referências

- Alves Júnior, F. T. 2010. Biomassa e volumetria de uma área de caatinga. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Agência Nacional de Mineração (ANM). 2015. Sumário Mineral 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 28 nov. 2018.
- Accioly, L. J. O. et al, 2002. Relação empírica entre a estrutura da vegetação e os dados TM/LANDSAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 492- 498, 2002.
- Brasil. 2005. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico e perspectivas de utilização de energéticos florestais na região do Araripe florestal. Brasília: SECTMA/MMA, 2005.
- Campello, F. C. B. 2011. Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: a questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da Região do Araripe – PE. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2011.
- Campello, F. C. B. 2018. O consumo específico de lenha como índice técnico para o ordenamento florestal no Araripe em Pernambuco. *Revista dos mestrados profissionais*, 2, 23–43.
- Carvalho, G. O. 2019. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea. *R. gest. sust. ambient.*, Florianópolis, 8, 779-792, jan/mar.
- Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM). 2018. Anuário Mineral Brasileiro – AMB. DIDEM
- Damasceno, M. L. 2020. Análise de biomassa florestal do polo gesso da região do Araripe – Pernambuco a partir de índices de vegetação. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Ferraz, A. S. et al, 2014. Estimativa de estoque de biomassa em um fragmento florestal usando dados orbitais. *Floresta e Ambiente*, 21, 286-296.
- Galvêncio, J. D.; França, L. M. de A, 2020. Impact of the hydric reposition in soil on the agriculture in Semi Arid Region. *J. Hyperspectral Remote Sens.*, 4, 134-152.
- Gadelha, F. H. L, 2014. Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos. 149 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Granja, Camila et al. 2017. Degradação ambiental: exploração de gipsita no Polo gesso do Araripe. [S. l.] 11, 239-267.
- Henriques Jr., M. F. 2013. Potencial de financiamento de eficiência energética nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste. Banco Interamericano de Desenvolvimento.
- Lima, Júnior; Lima, Regina; Liberal, Bruno; Guerrero, Jorge; Sampaio, Everardo; Menezes, Rômulo. 2015. Viabilidade Econômica do Uso Energético de Lenha da Caatinga sob Manejo

- Sustentável. Revista Brasileira de Geografia Física. [S. l.], 08 156-166, 2015
- Lima Júnior, C. et al. 2014. Estimativa da biomassa lenhosa da caatinga usando equações alométricas e índice de vegetação. Scientia Forestalis. 42, 289-298.
- Liu, W. T. H. 2007. Aplicações de sensoriamento remoto. São Paulo: Editora Uniderp, 908 p.
- Lopes, H. L.; Candeias, A. L. B.; Accioly, L. J. O.; Sobral, M. C. M. 2018.; Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14, 1210-1219.
- Luz, L. R; Giongo, V.; Santos, A. M.; Lopes, R. J. C.; JR., C. L, 2021. Biomassa e índices de vegetação por sensoriamento remoto em diferentes áreas da floresta de caatinga. Ciência Rural. 52.
- Nascimento, D. M. 2019. Desenvolvimento de um sistema de estimativa de biomassa vegetal através de sensores remotos para o semiárido pernambucano. (Tese doutorado em tecnologias energéticas e nucleares). Recife 2019.
- Novaes, Jr. J. A, 2012. condicionalidades para a adequação ambiental de atividades produtivas: o caso da indústria de calcinação do gesso.. (Tese mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Recife, 2012.
- Rêgo, A.C, 2012. Análise comparativa dos índices de vegetação ndvi e savi no município de são domingos do cariri-pb.. Edição Especial, 2, 1217 – 1229.
- Silva, J. A. S, 2013. da. Determinação da biomassa vegetal e parâmetros ambientais associados na chapada do Araripe por imagem de satélite. (91 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2013.
- Sá, I. I. S; Galvêncio, J. D.; Moura, M. S. B.; Sá, I. B.; 2011. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. Mercator, 9.
- Sampaio, E. V. S. B.; Freitas, A. D. S. 2008. Produção de biomassa na nativa do semiárido nordestino. In: Menezes, RSC et al., editores. Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido. Ed. Universitária da UFPE, Cap.1, p. 11-25.
- Sampaio, E. V. S. B., et al. 2015. Estimativa do estoque de fitomassa por meio de imagens de satélite em uma área semiárida do estado de Pernambuco. Brasil.In: Hermann, T. et al., editores. Qualidade da Terra e Processos Paisagísticos, pp 113-117. ISBN 9789279483103.
- Santos, João et al. 2019Produção de gesso no Araripe Pernambuco impactos ambientais e perspectivas futuras.. Revista aidis. [S. l.], 12, 496-509.
- Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA/MMA). 2007. Região do Araripe – Pernambuco, Diagnóstico Florestal Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007, 91p.
- Zanotta, D.C.; Ferreira, M. P.; Zortea, M. 2019. Processamento de imagens de satélite. Oficina de Textos Grafia.