



DINÂMICA TEMPORAL DA COBERTURA E USO DAS TERRAS DE REGIÃO SEMIÁRIDA

Paulo Roberto Megna Francisco

João Miguel de Moraes Neto

Viviane Farias Silva

George do Nascimento Ribeiro

Djail Santos

Gypson Dutra Junqueira Ayres



***DINÂMICA TEMPORAL
DA COBERTURA
E USO DAS TERRAS
DE REGIÃO SEMIÁRIDA***





Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D5856 Dinâmica temporal da cobertura e uso das terras de região semiárida/Francisco et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2022.
50 f.: il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-00-51399-8

1. Geoprocessamento. 2. Estatística descritiva. 3. Multi-temporal. 4. Caatinga. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Moraes Neto, João Miguel. III. Silva, Viviane Farias. IV. Ribeiro, George do Nascimento. V. Santos, Djail. VI. Ayres, Gypson Dutra Junqueira. VII. Título.

CDU 62

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2022 by Eptec
Copyright © Eptec
Copyright do texto © 2022 Os autores
Copyright da edição © 2022 Eptec
Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.
Open access publication by Eptec

Créditos das Imagens da capa e dos capítulos
Pixabay/Freepick

Editoração, Revisão e Arte da Capa
Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial **Conselho Editorial**

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)
Djail Santos (CCA-UFPB)
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)
Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)
Newton Carlos Santos (UFRN)
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)
Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)





Paulo Roberto Megna Francisco
João Miguel de Moraes Neto
Viviane Farias Silva
George do Nascimento Ribeiro
Djail Santos
Gypson Dutra Junqueira Ayres

DINÂMICA TEMPORAL DA COBERTURA E USO DAS TERRAS DE REGIÃO SEMIÁRIDA



1.a Edição
Campina Grande-PB
2022





REALIZAÇÃO



APOIO



Universidade Federal
de Campina Grande





SUMÁRIO

<i>Introdução</i>	6
<i>Revisão Bibliográfica</i>	10
<i>Material e Métodos</i>	17
<i>Resultado e Discussão</i>	21
<i>Conclusão</i>	32
<i>Referências Bibliográficas</i>	33
<i>Curriculum dos Autores</i>	48





INTRODUÇÃO

Os fenômenos terrestres vêm sendo, a cada dia, mais bem compreendidos com a adoção de uma abordagem multi e interdisciplinar, por meio da integração do estudo das diversas variáveis que controlam os sistemas naturais, mesmo que modificados em relação aos originais, como, por exemplo, os ecossistemas agrícolas (VIDAL-TORRADO et al., 2005). Embora as modificações antrópicas das paisagens em todo o mundo tenham acontecido ao longo da história, prioritariamente para obtenção de alimentos e outros itens essenciais, o ritmo e a magnitude das mudanças recentes têm ocorrido sem precedentes (ANTUNES et al., 2019).

Fernandes et al. (2015) afirmam que, os estudos da cobertura florestal ou da cobertura e do uso da terra, sua dinâmica e seus impactos aumentaram com as pesquisas quanto às mudanças ambientais nas últimas décadas, quanto a região semiárida do Brasil (SILVA et al., 2011; CUNHA et al., 2012; SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2014). Silva et al. (2009), avaliando a dinâmica espaço-temporal da vegetação do semiárido de Pernambuco, verificaram que a Caatinga diminuiu, mostrando que as áreas analisadas encontra-se em processo de perda da vegetação.

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente. Como consequência natural, o uso de geoprocessamento em projetos ambientais





requer o uso intensivo de técnicas de integração de dados e combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens e geoestatística (CÂMARA & MEDEIROS, 1998).

De acordo com Facco et al. (2017), a análise temporal de imagens de Sensoriamento Remoto de um município, quando realizada através de técnicas de processamento digital propicia o reconhecimento de mudanças nas atividades agrícolas e pecuárias, principal fonte de renda da população rural, bem como mudanças nas áreas florestais nativas amparadas pela legislação ambiental.

Dada a repetitividade com que as imagens de satélite são adquiridas, é possível reconhecer alterações ocorridas na paisagem de uma região, num dado período de tempo, através da análise da extensão e do tipo de mudanças no uso, como o desmatamento, a expansão urbana e as variações sazonais da vegetação (RIDD & LIU, 1998). Conforme Francisco et al. (2012), na atualidade, o avanço da tecnologia da informação, a disponibilização de imagens de satélite em altas resoluções e de programas computacionais para a análise ambiental houve um grande avanço nos estudos relacionados à gestão dos recursos naturais.

Com o crescente desenvolvimento das aplicações Web destinadas à obtenção e visualização dos dados geoespaciais, bem como a disseminação de bases geográficas, o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomas[®] apresenta uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2021). Gomes et al. (2017) e Lima et al. (2017) e Almeida et al. (2018) apresentam aplicações dessa ferramenta para analisar o uso e cobertura dos solos de



Petrolândia, Brejinho e do Agreste Pernambucano, e no Estado de Alagoas, Silva et al. (2019) no município de Delmiro Gouveia.

Neste contexto, o recurso à representação dos fluxos por intermédio de diagramas de Sankey tem sido prática comum em diversas áreas, por Schmidt (2008) na análise dos fluxos de energia por Soundararajan et al. (2014); na dinâmica de alteração da ocupação do solo por Cuba (2015) e Antunes et al. (2019); na análise de fluxos de base florestal por Lenglet et al. (2017); na caracterização dos fluxos de biomassa por Camia et al. (2018) e por Cunha e Marques (2021). Conforme Schmidt (2008), o Diagrama de Sankey foi inicialmente proposto para representar o fluxo de energia e sua distribuição ao longo de várias direções. Cada direção é representada por uma linha ou seta, cuja espessura indica a sua proporção ou quantidade de energia. Linhas mais espessas representam maior quantidade de energia sendo transmitida por aquela direção, enquanto que linhas mais finas representam menor energia sendo transmitida. O mesmo conceito pode ser aplicado a outros tipos de variáveis e magnitudes.

A estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados. A estatística descritiva, segundo Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários. Várias pesquisas em diversas áreas e com variadas ferramentas a utilizaram, como Lima et al. (2009) em variabilidade espacial da textura de solo e vegetação; Motomiya et al. (2012) em índice de vegetação de algodão; Francisco et al. (2012) mapeamento a caatinga; Zanzarini et al. (2013) na correlação espacial do índice de vegetação; Francisco et al. (2016a) na discriminação de cenários pluviométricos; Francisco et al. (2016b) no mapeamento da insolação; Macedo et al. (2015) na caracterização espaço-temporal e quantificação da cobertura vegetal; Santos et al. (2019) em correlação entre índices de vegetação; e Francisco et al. (2021) no estudo da dinâmica temporal da cobertura e uso da terra.



Devido à necessidade de se conhecer melhor a dinâmica temporal da cobertura e uso do solo de áreas da região semiárida, propõe-se um estudo de avaliação de dados obtidos pelo MapBiomas®.

Portanto, este trabalho objetiva avaliar estatisticamente dados temporais da cobertura e uso da terra do município de Patos, Estado da Paraíba, utilizando uma série do Mapbiomas® de 36 anos entre 1985 a 2020.





REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Caatinga e suas características

Uma das características marcantes da região semiárida brasileira é a sua grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, com totais médios anuais entre 400 a 800mm e uma evaporação que, em anos mais críticos, chega a ultrapassar cinco vezes a altura da precipitação (VAREJÃO-SILVA et al., 1984).

O principal fator limitante do desenvolvimento no semiárido brasileiro é a água; não propriamente pelo volume precipitado, mas pela quantidade evaporada (BEZERRA, 2002). Enquanto a temperatura, a radiação solar e os aportes de nutrientes nos ecossistemas do semiárido variam relativamente pouco no ano, a precipitação comumente ocorre em eventos descontínuos em forma de pulsos de curta duração (NOY-MEIR, 1973). As variações climáticas, sobretudo nos períodos de estiagem, agravam um conjunto de questões econômicas e sociais, que desestruturam os sistemas produtivos (BEZERRA, 2002).

Um traço característico do antropismo na Caatinga é a fragmentação da paisagem por atividades agrícolas – cerca de 75% das propriedades agrícolas possuem menos de 10 hectares. Mesmo fragmentadas, as atividades agrícolas têm apresentado um declínio nas últimas décadas. De acordo com os autores, essa queda foi influenciada principalmente pela perda da competitividade econômica de cultivos (como o algodão), longos períodos de seca, movimentos de êxodo rural, além do elevado custo da mão-de-obra no campo (REDO et al., (2013).



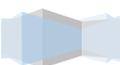


Atualmente, a pecuária é a principal atividade econômica da Caatinga. Por exemplo, a área de pastagem plantada do bioma equivalia a aproximadamente 210 mil km² em 2018, ou seja, mais de 25% de sua área total (MAPBIOMAS, 2020). Isso ocorre porque a vegetação nativa permite um consumo de matéria seca capaz de atender às necessidades dos animais (ALVES et al., 2009). Giuliatti et al. (2004) apontam que uma área considerável da Caatinga é designada para pastagens nativas em todos os Estados, com exceção da porção norte de Minas Gerais.

Tecnologias de sensoriamento remoto

Nos últimos anos, há uma demanda crescente por novas tecnologias ecológicas e as séries temporais de uso e cobertura do solo vêm sendo mais utilizadas, em decorrência da possibilidade de identificar e acompanhar as mudanças nos padrões de uso do solo e vegetação, gerando estimativas de desmatamento (SANTOS, 2011). No entanto, o mapeamento de cobertura vegetal é essencial para verificar a disposição panorâmica no tempo e no espaço (BITENCURTIL et al., 2017).

Na atualidade, com o desenvolvimento das tecnologias de sensoriamento remoto e da geoinformática, as ferramentas para a realização de inventários e diagnósticos ambientais são facilmente disponíveis e de baixo custo permitindo auxiliar com agilidade, o monitoramento e a gestão de amplos territórios (FLORENZANO, 2002; NOVO, 2008). Conforme Francisco et al. (2012), a disponibilização de imagens de satélite em altas resoluções e de programas computacionais para a análise ambiental houve um grande avanço nos estudos relacionados à gestão dos recursos naturais.





MapBiomas[®]

Uma das ferramentas para mapeamento e análise anual de cobertura e uso do solo, é o projeto Mapbiomas[®], uma iniciativa de monitoramento aberto e colaborativo. Esta iniciativa de monitoramento originou-se em 2015 onde foi desenvolvido um algoritmo de classificação de imagens de satélite, que funciona na plataforma Google Earth Engine que é um ambiente para processamento e análise em escala planetária de dados de monitoramento da superfície terrestre. O projeto Mapbiomas[®] utiliza-se das imagens das missões *Landsat* de observação da terra com satélite, sendo processadas em pixels, que são as unidades de trabalho da ferramenta, disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine. Os dados apresentados pela plataforma de monitoramento ajudam a compreender a evolução da ocupação do território e os impactos sobre os biomas no Brasil para uma série histórica de mais de 30 anos de dados de mapeamento do uso e cobertura da terra para todos os biomas brasileiros (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

A partir de 2016, o MapBiomas[®] passou a lançar uma coleção principal por ano, cada uma com versões mais aperfeiçoadas da metodologia de processamento, incluindo o ano mais recente e ampliando o intervalo temporal. A acurácia global da coleção 4.1 para cada ano da série temporal (1985 – 2018) é de 80% para a legenda de nível 1 e 75% para a legenda de nível 3. Atualmente, o MapBiomas[®] apresenta a maior acurácia dentre os mapeamentos realizados para a Caatinga a nível de bioma, além de possuir o maior intervalo temporal mapeado (GANEM et al., 2020).

A estratégia de mapeamento inclui o uso dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e big data disponíveis, série temporal Landsat, fornecidos pelo Google Earth Engine. Mais especificamente, a iniciativa usa métodos empíricos e estatísticos por exemplo, random forest e aprendizado de máquina, para contar o histórico recente de pixels e criar mapas de uso e cobertura da terra (ROSA et al., 2019).



As imagens utilizadas pelo projeto são das séries históricas produzidas pelos satélites Landsat (com 30 metros de resolução espacial). Todas as imagens disponíveis no ano são usadas para geração de mosaicos, com as bandas de reflectância, índices espectrais, temporais e de textura. Todo o processamento é feito na nuvem e as classificações supervisionadas são feitas por algoritmos de aprendizagem de máquina na plataforma Google Earth Engine (GORELICK, 2017), com amostras coletadas e ajustadas regionalmente. Filtros temporais e espaciais são aplicados nas classificações dos biomas e temas e, posteriormente, os mapas são integrados. A descrição metodológica está publicada no ATBD (Documento Base Teórico do Algoritmo) e seus apêndices (MAPBIOMAS, 2019). Para análise de acurácia dos mapas produzidos, foram gerados 85.000 pontos aleatórios, distribuídos por todo o território brasileiro. Os pontos foram inspecionados por uma equipe independente do Laboratório de Processamento de Imagens da Universidade Federal de Goiás, sobre imagens Landsat do período seco/úmido, com uma ferramenta livre desenvolvida pelo laboratório (Temporal Visual Inspection - TVI). Cada ponto foi inspecionado por 3 intérpretes diferentes e os pontos não concordantes foram validados por um intérprete sênior para decisão final. Os pontos de acurácia foram comparados aos mapas para geração da matriz de confusão e cálculo da acurácia global por bioma, além de erros de omissão e comissão por classe de cobertura e uso da terra, para cada ano.

A unidade de mapeamento do MapBiomas[®] é a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo na escala 1:250.000, cobrindo uma área de 1°30' de longitude por 1° de latitude. Como o próprio nome sugere, trata-se de cartas de todas as regiões do globo terrestre e a sua utilização, de acordo com Nozawa (1987), restringe-se a trabalhos que envolvam grandes áreas. Um total de 558 cartas (ou folhas) cobre o território nacional. Os mapas de referência utilizados para avaliar os resultados baseiam-se nos mapas do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (BRASIL, 2006).



De acordo com Rosa et al. (2019), os produtos e plataforma do MapBiomass[®] estão sendo utilizados em diversas pesquisas aplicadas, em temas como planejamento do uso do solo, conservação incluindo restauração por Crouzeilles et al. (2019), biodiversidade, Vidal et al. (2019), agricultura e mudanças climáticas, Cohn et al. (2019), estimativas de emissões de gases de efeito estufa pelas mudanças no uso da terra e florestas. Além disso, diferentes órgãos governamentais e não-governamentais estão usando os dados e mapas do MapBiomass[®] para monitoramento ambiental, políticas públicas, manejo sustentável e conservação dos recursos naturais em todo o país.

Técnicas estatísticas

Andrade e Ogliari (2013), afirmam que qualquer trabalho de análise estatística se inicia com a análise descritiva de dados, com o objetivo de obter conhecimento sobre eles. Em muitos casos, com uma boa análise descritiva de dados, atendem-se os objetivos da pesquisa, principalmente em estudos realizados através de levantamentos, enquanto em outros, serve como uma primeira aproximação da análise final. Ainda de acordo com Andrade e Ogliari (2013), a estatística descritiva trata da organização, apresentação, resumo e exploração dos dados, a qual permite adquirir um bom conhecimento e senso crítico sobre os dados observados, ajudando a responder os objetivos da pesquisa.

A estatística descritiva compreende técnicas que se usam para resumir e descrever dados (KAZMIER, 1998). A estatística descritiva, segundo Silvestre (2007), é constituída pelo conjunto de métodos destinados à organização e descrição dos dados através de indicadores sintéticos ou sumários, ou ainda, conforme Fonseca e Martins (1996) se constituem num conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma amostra. Conforme Montgomery e Runger (2012) são organizar e resumir os dados em maneiras que facilitem sua interpretação e análise subsequente.



A regressão clássica, onde o modelo de regressão, que é baseado no interesse na avaliação da relação de uma variável (Y) com variáveis independentes ou covariáveis (X), ou seja, a relação entre duas ou mais variáveis para que uma das eles podem ser explicados ou previstos por outras variáveis (CORRAR et al., 2007). No caso de dados espaciais, quando houver uma autocorrelação espacial, o modelo gerado deve incorporar a estrutura espacial porque a dependência entre as observações afeta a capacidade explicativa do modelo (CÂMARA et al., 2004).

A distribuição normal é o modelo probabilístico contínuo mais importante porque a maioria dos métodos estatísticos é baseada nesse modelo e a maioria dos fenômenos aleatórios pode ser descrita de forma aproximada por ele (BUSSAB & MORETTIN, 2003). Avaliar o pressuposto de normalidade é exigido por inúmeros procedimentos estatísticos, tais como construção de alguns intervalos de confiança, testes de hipóteses e análise de variância, pois a maioria deles foi desenvolvida supondo que os dados são normais. Assim, torna-se importante verificar esse pressuposto antes de se prosseguir com os procedimentos estatísticos que o exijam (RAZALI & WAH, 2011).

Há quantidade significativa de testes de normalidade disponíveis na literatura. No entanto, os procedimentos mais comuns de normalidade disponíveis em programas de estatística são os testes Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors, Jarque-Bera, Cramer-von Mises, D'Agostino Pearson, Kolmogorov-Smirnov, entre outros. Alguns destes testes só podem ser aplicados em uma determinada condição ou pressuposto. Além disso, diferentes testes de normalidade muitas vezes produzem resultados diferentes e algum teste pode rejeitar enquanto outros não rejeitam a hipótese nula de normalidade. Os resultados contraditórios são enganosos e muitas vezes confundem os profissionais. Assim, a escolha do teste de normalidade a ser utilizado é uma tarefa difícil (RAZALI & WAH, 2011).





Segundo Bueno (2011), o teste Jarque-Bera testa a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal verificando se os coeficientes de assimetria e curtose da série estudada são iguais aos respectivos coeficientes de uma distribuição normal. É importante notar que a rejeição da hipótese nula indica evidências de não normalidade, porém a não rejeição indica apenas que não foram encontradas evidências de que o terceiro e o quarto momentos da distribuição empírica coincidem com os da normal. O teste de Jarque-Bera (1987) é conhecido por ter boas propriedades para verificar normalidade.

O teste de Shapiro-Wilk é um teste de normalidade publicado em 1965 por Samuel Sanford Shapiro e Martin Wilk e se baseia na regressão dos valores amostrais ordenados com as correspondentes estatísticas de seis ordens normais que, para uma amostra de uma população normalmente distribuída, é linear (ROYSTON, 1982). Anderson-Darling (1954), é um teste de aderência que serve para testar hipóteses de aderência para modelos contínuos. Para testar a normalidade, Lilliefors (1967) introduziu uma modificação no teste de Kolmogorov-Smirnov ampliando o seu uso aos casos em que a média e a variância não são previamente especificadas, mas estimadas por meio da amostra (CAMPOS, 1983). O teste Mann-Kendall (SNEYERS, 1975) é o mais apropriado método para analisar as tendências das mudanças climáticas (GOOSSENS & BERGER, 1986).

Conforme Schmidt (2008), o Diagrama de Sankey foi inicialmente proposto para representar o fluxo de energia e sua distribuição ao longo de várias direções. Cada direção é representada por uma linha ou seta, cuja espessura indica a sua proporção ou quantidade de energia. Linhas mais espessas representam maior quantidade de energia sendo transmitida por aquela direção, enquanto que linhas mais finas representam menor energia sendo transmitida. O mesmo conceito pode ser aplicado a outros tipos de variáveis e magnitudes.





MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Patos com área de 472,982 km² localizado no Estado da Paraíba, região do Sertão, com uma população de 108.766 habitantes, perfazendo divisa com os municípios de São José de Espinharas, Malta, Catingueira, São José do Bonfim, Cacimba de Areia, Quixabá e São Mamede (Figura 1) (IBGE, 2022). O município apresenta como reservas de água o Açude Jatobá e a Barragem da Farinha e sendo contemplado pelos rios Farinha e Cruz que forma o Espinharas (ANA, 2014).

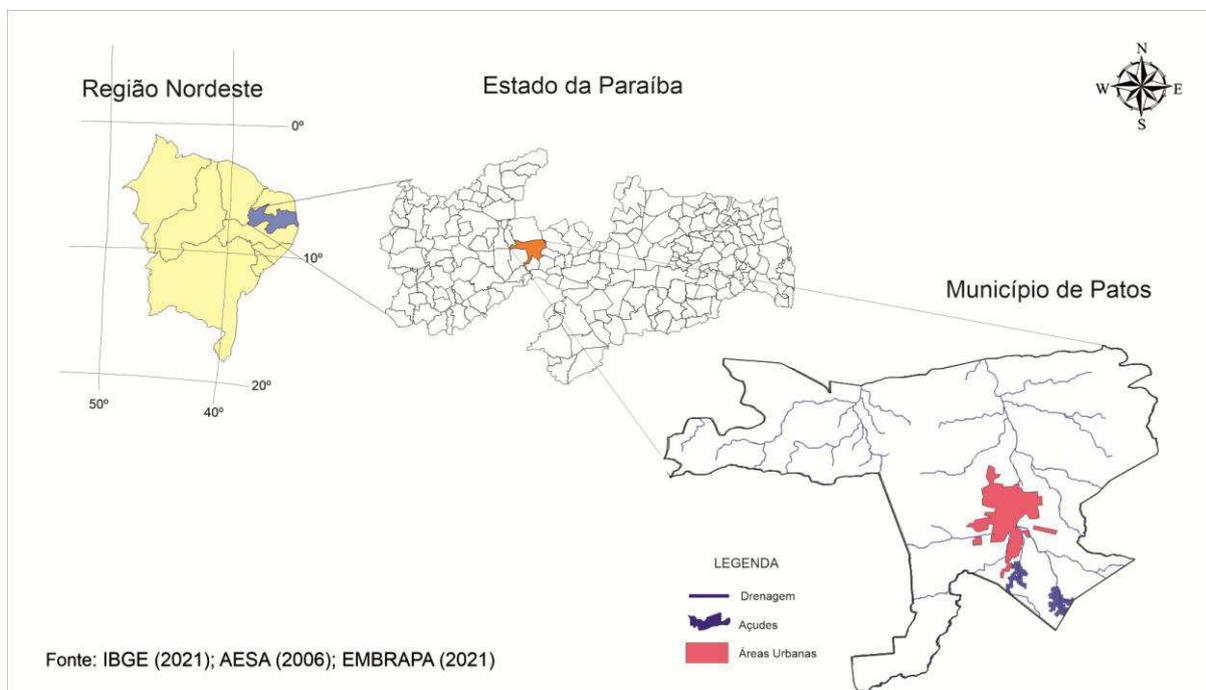


Figura 1. Localização do município de Patos-PB, Brasil.

Fonte: Adaptado de IBGE (2021); AESA (2006); EMBRAPA (2021).



Conforme Francisco (2010), o Sertão – região que ocupa o terço oeste do Estado, formada pela depressão do rio Piranhas e seus contribuintes, e de acordo com Francisco et al. (2015) Aw' – Tropical Quente e Úmido com chuvas de verão-outono, caracterizado por possuir uma estação chuvosa que vai de janeiro a abril, com precipitações máximas nos meses de janeiro, fevereiro e março. Conforme Menezes et al. (2015) a precipitação média está em torno dos 800mm.

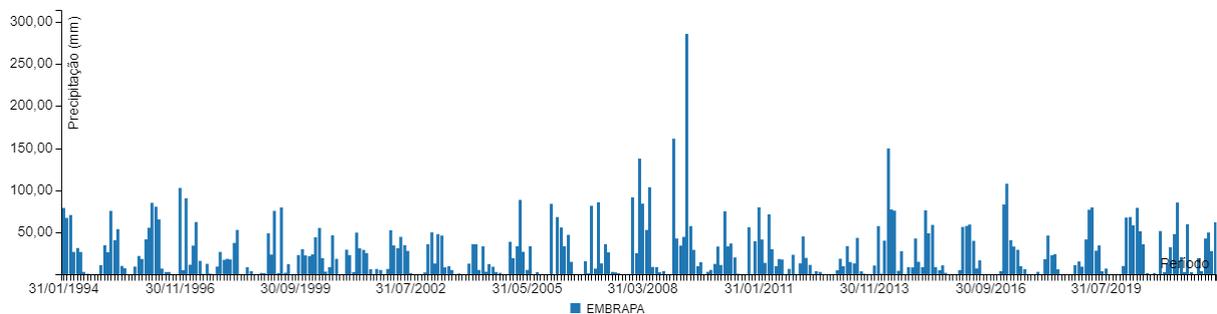


Figura 2. Distribuição mensal da pluviosidade no período de 1994 a 2022 do município de Patos-PB, Brasil. Fonte: AESA (2022).

A vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila (FRANCISCO, 2010). De acordo com Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005), o município tem cerca de 50% de sua área ocupada com vegetação nativa, caracterizada como Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta, Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada e Caatinga Arbórea Fechada, indicando também a presença de Áreas de Preservação Permanente.

A topografia dos terrenos do município de Patos apresenta cotas situadas entre 240 a 580 metros. O relevo é predominantemente ondulado à suavemente ondulado, com declividade média à baixa, com exceção de áreas ao norte onde se localiza a serra de Carnaúba, ao sul nos serrotes de Espinho Branco e Forquilha, centro-oeste no serrote Serra



Negra, noroeste nos serrotes Campo Alegre, Trapiá, e serra do Boqueirão, e a oeste nos serrotes Pitombeiras, do Caboclo e do Tamanduá. Nestas áreas a declividade é média à elevada (MENEZES et al., 2015).

A região polarizada pela cidade de Patos os solos predominantes é o Luvisolo Crômico fase pedregosa relevo suave ondulado associado ao Neossolo Litólico Eutróficos fase pedregosa e rochosa relevo ondulado; ocorrendo a presença de Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos, textura indiscriminada, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, ao longo da drenagem (Figura 3) (FRANCISCO, 2010).

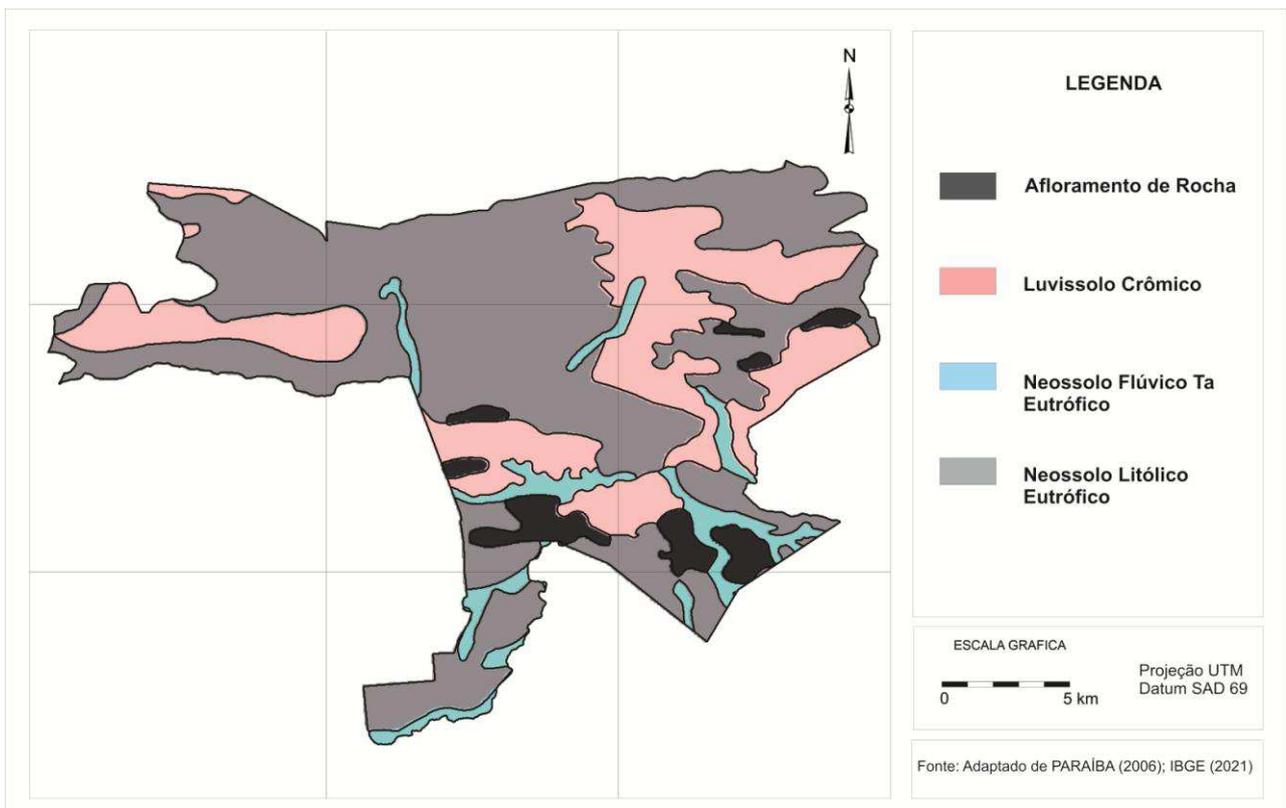


Figura 3. Solos do município de Patos-PB, Brasil. Fonte: adaptado de PARAÍBA (2006).

Neste trabalho foi obtido no MapBiomas® (2022), para uma série de 36 anos entre 1985 a 2020, um mosaico das imagens de cobertura e uso da terra da área de estudo com suas





respectivas áreas classificadas como Floresta, Formação Natural Não florestal, Agropecuária, Área Não Vegetada, Corpos d'água. Demais classes disponíveis no sistema não foi utilizado por este trabalho. Também foi gerado e obtido os dados estatísticos do uso e cobertura do solo da área em hectares.

Foi obtido o diagrama de Sankey conforme a metodologia de Schmidt (2008), elaborado automaticamente pelo sistema Mapbiomas®, onde este é capaz de representar o fluxo de transições de áreas entre as classes temáticas ao longo da série temporal estudada.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o XLSTAT® Trial. Para avaliação temporal das áreas de cobertura e uso do solo foi utilizado a regressão clássica, onde o modelo de regressão (Equação 1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.1)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos como Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987) e Mann-Kendall (1967; 1945).





RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Figura 4 pode-se observar a distribuição da cobertura e uso do solo da área de estudo para o ano de 1985 seguido da Figura 5 para o ano de 2020.

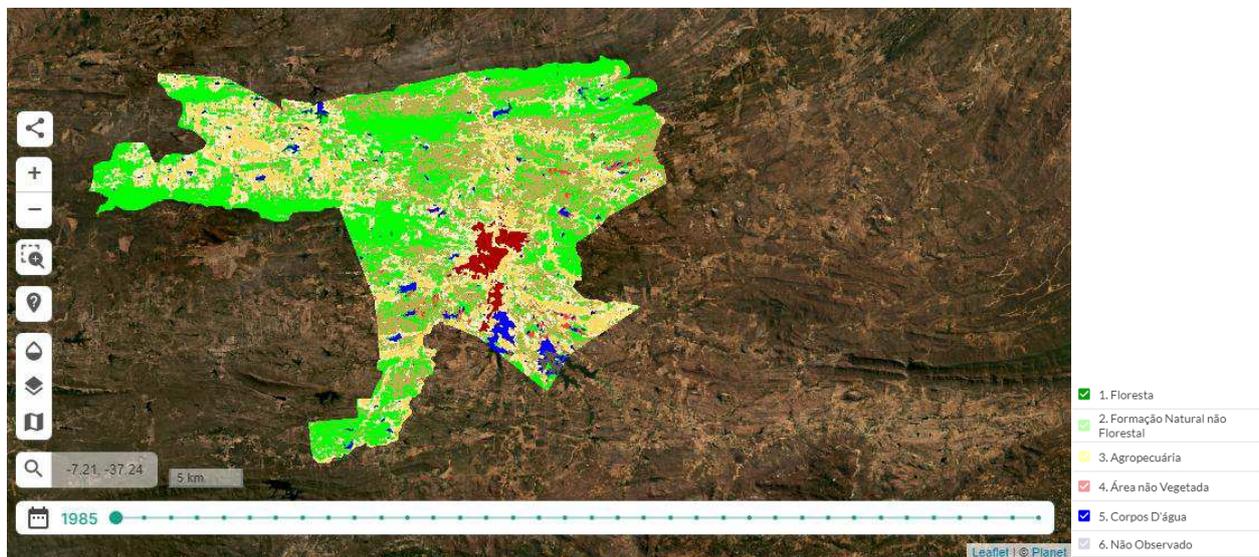


Figura 4. Cobertura e uso do solo do ano de 1985 do município de Patos-PB, Brasil.

Fonte: adaptado de Mapbiomas[©] (2022).



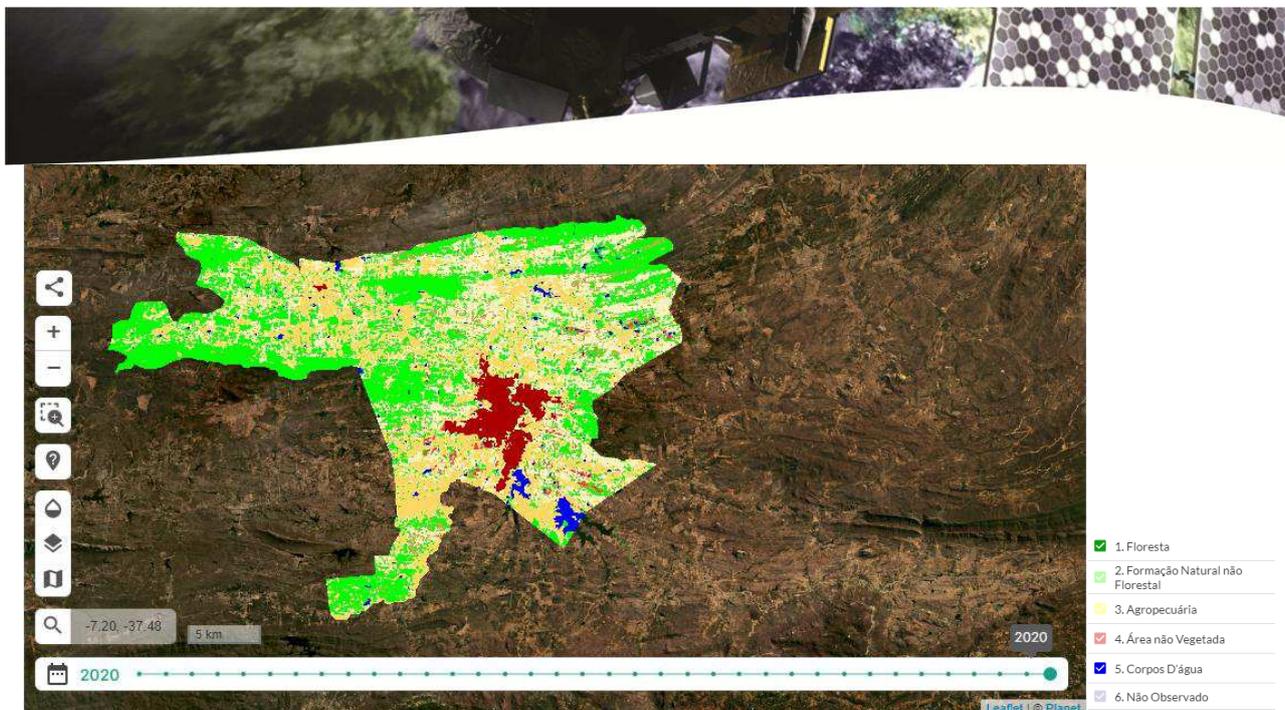


Figura 5. Cobertura e uso do solo do ano de 2020 do município de Patos-PB, Brasil.

Fonte: adaptado de Mapbiomas[®] (2022).

Na Tabela 1, observam-se os dados do mapeamento, os valores em área e percentagem de ocupação das classes de cobertura e uso da terra e sua variação espaço-temporal.

Tabela 1. Variação espaço-temporal da cobertura e uso do solo

Classes	1985 (ha)	(%)	2020 (ha)	(%)
Floresta	16.698,10	35,30	16.364,16	34,60
Formação Natural Não Florestal	12.161,80	25,71	1.688,01	3,57
Agropecuária	15.952,26	33,73	25.859,59	54,67
Área Não Vegetada	1.501,54	3,17	2.591,75	5,48
Corpos D'água	984,50	2,08	794,69	1,68
Total	47.298,20	100,00	47.298,20	100,00

Para os dados de 1985 e 2020, constata-se do total de 47.298,20 ha que ocorre alterações pouco significativas na classe Floresta, com perda de área de 0,7%. Silva et al. (2021), utilizando o MapBiomas[®] e avaliando as mudanças de uso e cobertura da terra da



bacia hidrográfica no nordeste da Bahia, região semiárida, observaram aumento de 0,52% nesta classe, resultado similar a este estudo. Em região semiárida Pernambucana, Santos et al. (2021) observaram entre 2011 e 2018 um acréscimo de área nesta mesma classe em 5,6% aproximadamente.

Francisco et al. (2012) afirmam que esse comportamento temporal dá uma ideia da capacidade de recuperação da vegetação de caatinga, que aumenta a biomassa, onde também este comportamento pode estar relacionado com a ocorrência de maior umidade nestas áreas. Santos e Negri (1997) afirmam que variáveis climáticas, tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre, e que as oscilações entre as estações seca e úmida durante o ano e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas.

Observa-se que ocorrem alterações significativas de mudança de área na classe Formação Natural Não Florestal de 12.161,8 ha (25,71%) para 1.688,01 ha (3,57%) em 2020, representando em torno de 10.473,79 ha em perda de área. Esta perda está relacionada com o aumento na classe Agropecuária de 15.952,26 ha para 25.859,6 ha, representando 20,94% de aumento neste período temporal. Aumento este relacionado ao processo de expansão dessas culturas por meio da conversão de áreas tradicionais de pastagem. Situação similar observada por Esquerdo et al. (2018) avaliando a dinâmica de uso e cobertura da terra em Santo Afonso-MT. No entanto, não é possível afirmar que tais transições tenham ocorrido de forma direta entre uma classe temática para outra ao longo do tempo, conforme Antunes et al. (2019).

Sousa et al. (2008) e Barbosa et al. (2009), avaliando a vegetação a evolução da cobertura vegetal e o uso agrícola do solo dos municípios de Boa Vista e Lagoa Seca, Estado da Paraíba, observaram que a cobertura florestal sofreu redução também ao longo dos anos estudados, sendo relacionados com o elevado uso das terras para pecuária extensiva e a



ocorrência significativa do aumento de áreas exploradas com a pecuária na região, respectivamente.

Para a classe Não Vegetada observa-se que ocorre aumento de 1.501,54 ha em 1985 para 2.591,75 ha em 2020, com acréscimo de 2,31% de área nesta classe, isto devido à urbanização da cidade ocorrida durante os 36 anos. Entre 1985 e 2010, Assis et al. (2014) observaram aumento de 3,5% na área urbana no município de Belém de São Francisco, Pernambuco, região semiárida.

A classe Corpos d'água apresenta uma variação negativa em 0,4% durante o período de estudo, isto devido à variação pluviométrica nas últimas décadas. Silva et al. (2021) observaram uma variação de 0,127% de 1985 a 2020.

Para a classe Floresta, observa-se pequena diminuição de 0,7% nas áreas no espaço temporal, estando distribuídas em áreas de serra e próximas drenagens devido à maior umidade disponível. Resultado similar ao encontrado por Francisco et al. (2021) estudando a dinâmica da vegetação em bacia hidrográfica em região semiárida. De acordo com Francisco (2010), esse comportamento temporal representa a capacidade de recuperação da vegetação de caatinga.

Fazendo uso do mapa de solos (Figura 2), pode observar-se que existe uma estreita relação entre áreas mais altas e declivosas e os solos Neossolos Litólicos com unidades mais densas de vegetação. Paes-Silva et al. (2003), Francisco (2013), Francisco et al. (2014) e Francisco et al. (2021) estudando a região semiárida em regiões próximas a área de estudo, também observaram esta relação entre vegetação e áreas declivosas e de difícil acesso.

Na Figura 6 pode-se observar o diagrama de Sankey multitemporal gerado pela plataforma Mapbiomas®, que possibilita uma análise detalhada das transições de uso e cobertura da terra considerando outros mapeamentos no período.



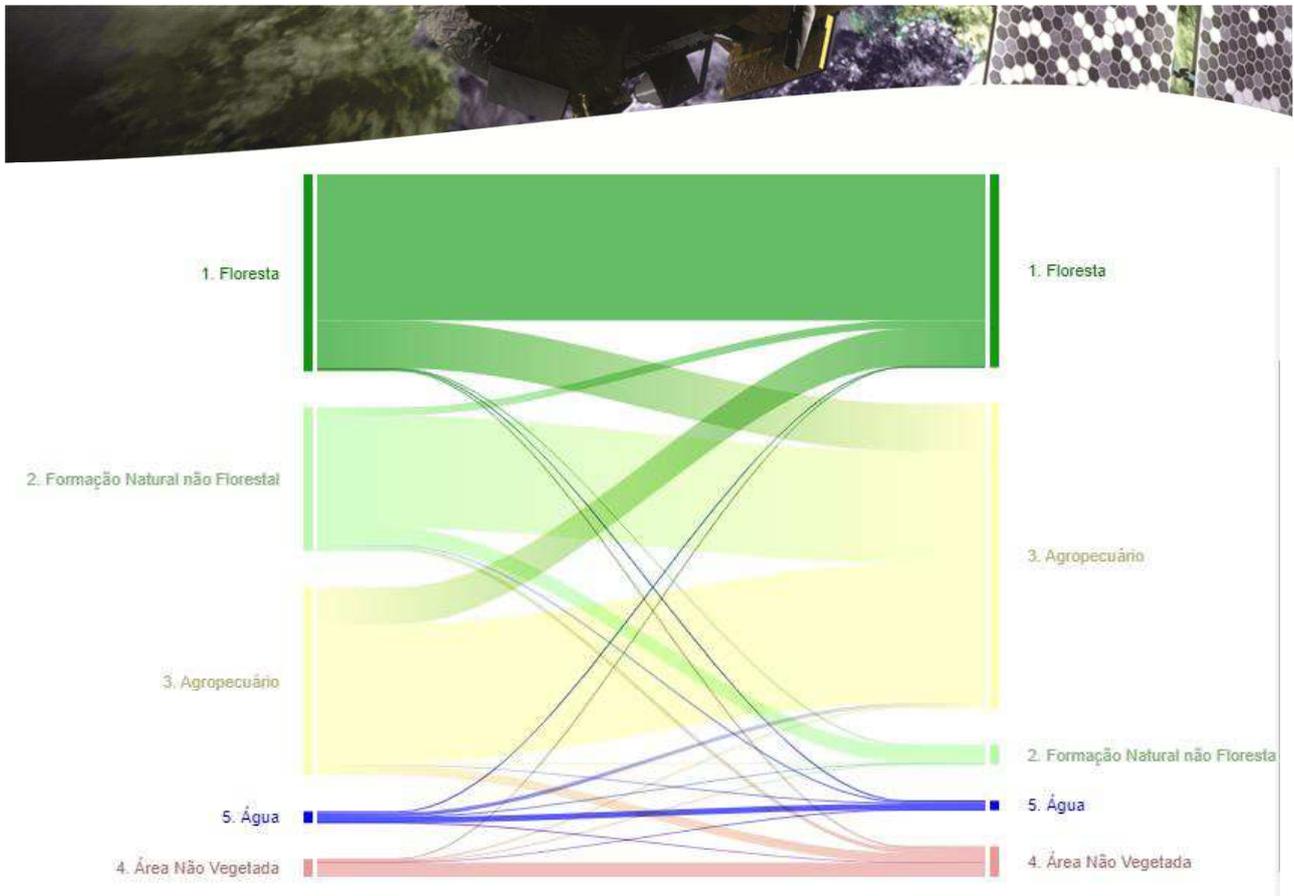


Figura 6. Diagrama de Sankey da transição espaço-temporal do município de Patos-PB, Brasil.

Fonte: Mapbiomas[©] (2022).

Pode-se observar no Diagrama de Sankey que, o maior fluxo em direção a classe Agropecuária em 2020 é originário da própria classe em 2004 e da perda de área de classe da Formação Natural Não Florestal, o que está relacionado ao processo de intensificação da agricultura. Antunes et al. (2019) afirmam que o crescimento na produção agrícola normalmente está associado à incorporação de áreas anteriormente destinadas à pecuária. Fernandes et al. (2015) afirmam que este crescimento de área está relacionado à disponibilidade de áreas potencialmente irrigáveis como um esforço sistemático para aproveitamento dos recursos hídricos. Valle et al. (2012), em um diagnóstico de mudança do uso da terra entre 1978 e 2011 no Triângulo Mineiro, mostraram que a vegetação nativa reduziu sua área em 19,2%, sendo substituída por agricultura e pastagem. Coelho et al. (2014), avaliando a dinâmica do uso do solo em Pernambuco, observaram que os resultados



entre as classes de uso passaram por uma grande transição, com aumento do desmatamento pela retirada da vegetação da Caatinga e substituição rápida e progressiva por áreas com pastagem e agricultura.

Verifica-se um fluxo da classe Floresta convertida para a classe Agropecuária, revelando que essa transição é uma das dinâmicas características da Caatinga. Fernandes et al. (2015) avaliando a região semiárida do Estado de Sergipe observou o processo de conversão de Caatinga em áreas de produção agropecuária próxima a rios. De acordo com o IBGE (2021) o bioma caatinga é afetado pela supressão de vegetação nativa para o uso e ocupação de áreas com atividades da agropecuária intensiva.

Sousa et al. (2008b), comentam que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes. Assim, a retirada da cobertura vegetal para implantação de agricultura de autoconsumo ou para pecuarização extensiva sem práticas de conservação ambiental compromete, a médio e longo prazo, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro.

A classe Corpos D'água apresenta uma pequena dinâmica entre as demais classes, isto devido à umidade que colabora na manutenção das áreas vegetadas próximas como também na expansão de áreas agrícolas próximas aos reservatórios. Resultados similares encontrado por Fernandes et al. (2015) onde afirmam que essa classe pode variar de acordo com o volume de chuvas ocorridas a cada ano e, eventualmente, com novos represamentos de rios. De acordo com Carvalho et al. (2021), o Açude Jatobá e a Barragem da Farinha entre os anos de 2009 a 2017 ocorreram uma redução no espelho d'água de 61,13 e 80,60%, respectivamente, devido às irregularidades das chuvas e aos baixos índices pluviométricos ocorridos.





Na Tabela 2, da análise estatística descritiva da dinâmica temporal da cobertura e uso das terras, observam-se os valores mínimos e máximos encontradas na variável Floresta entre 15.580 e 21.405 com uma média 17.935,3. A variável Agropecuária é a que apresenta a maior média entre as demais, seguida da variável Floresta.

Tabela 2. Análise descritiva da dinâmica da cobertura e uso das terras

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Floresta	15.580,00	21.405,00	17.935,30	1.466,44
Formação Natural Não Florestal	1.145,00	12.355,00	4.768,05	2.898,87
Agropecuário	14.614,00	28.010,00	21.669,72	2.826,04
Área Não Vegetada	1.502,00	2.741,00	2.037,44	419,71
Corpos d'água	330,00	1.420,00	877,88	308,51

O desvio padrão apresenta menores valores para a variável Água e na Área Não Vegetada e os maiores desvios apresentam-se nas variáveis Floresta e Formação Natural Não Florestal. A média apresenta valores não muito próximos para ambos as variáveis, o que levar a deduzir que não se trata de uma distribuição simétrica.

No gráfico de dispersão (Figura 7) da cobertura e uso do solo entre 1985 a 2020 pode-se verificar o comportamento das classes em estudo. Pode-se observar que na classe Floresta ocorre periodicamente um crescimento de área e uma diminuição entre 1995, 2005 e 2015, talvez devido a ocorrência de maior pluviosidade na região e após a menor ocorrência entre os anos, situação também observada por Medeiros et al. (2016) realizando comparativo temporal da vegetação na região. Menezes et al. (2015) avaliando a variabilidade climática do município observaram que os anos de 1994; 1999; 2001; 2002; 2006; 2008 e 2009 ocorreram chuvas acima da normalidade.





Observa-se também a variação na classe Agropecuária, e o inverso nas classes Floresta e Formação Natural Não Florestal. Resultado similar encontrado por Francisco et al. (2021).

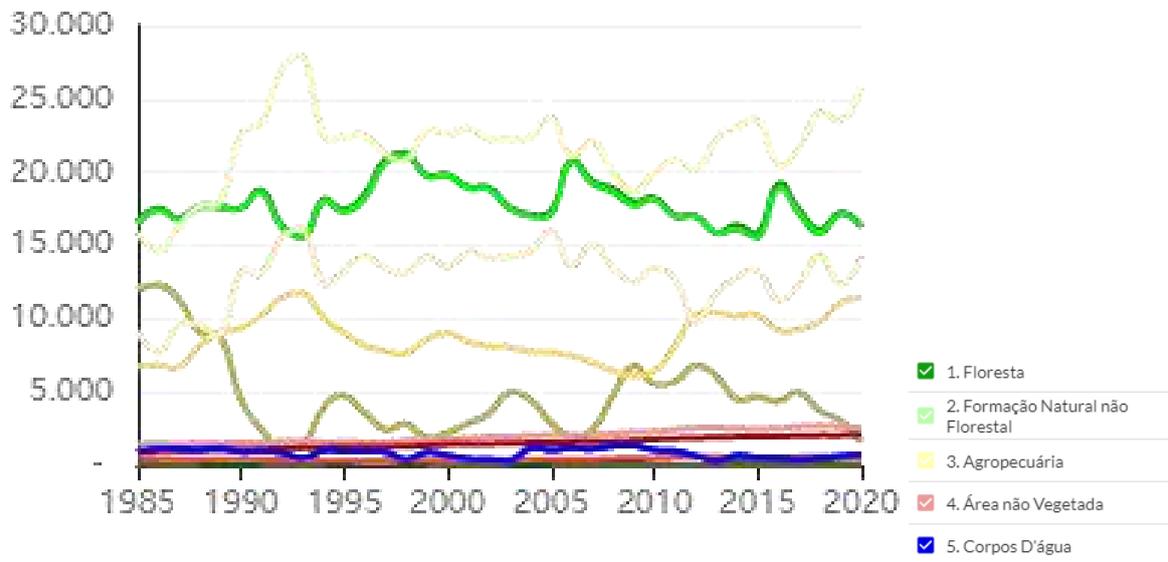


Figura 7. Evolução da cobertura e uso do solo entre 1985 a 2020 do município de Patos-PB, Brasil. Fonte: Mapbiomas[©] (2022).

Medeiros et al. (2020) afirmam que, no ano de 1985 ocorreu a maior precipitação durante a ocorrência da La Niña. Silva (2017) destaca que, para o mesmo ano teve atuação do Dipolo do Atlântico Negativo aumentando a precipitação, e o ano que registrou a menor precipitação foi 2013, durante a ocorrência do El Niño. Marengo et al. (2018) enfatiza que durante o período 2012-2013, a precipitação foi entre 100 e 300 mm ano⁻¹ abaixo da média no semiárido. Observa-se na Figura 6 na classe Floresta e Formação Natural Não Florestal este comportamento da vegetação quanto a precipitação ocorrida no município de Patos.

De acordo com Medeiros et al. (2020), os anos de 1985, 1994, 1996, 2008, 2009, registraram a ocorrência da La Niña com intensidade moderada e anos neutros, sendo



classificados como Muito chuvoso. Ocorrências estas que se pode também verificar por este trabalho no comportamento dinâmico da vegetação neste espaço tempo ocorrido.

Pelos dados estatísticos, observa-se pela Figura 8 que as menores variações de amplitude apresentam-se nas classes Área Não Vegetada e Corpos d'água. Com relação à variabilidade entre classes observadas por meio das caixas interquáliticas do gráfico boxplot para cada classe, observa-se que a classe Floresta apresenta menor variabilidade. Resultado similar encontrado por Francisco et al. (2021).

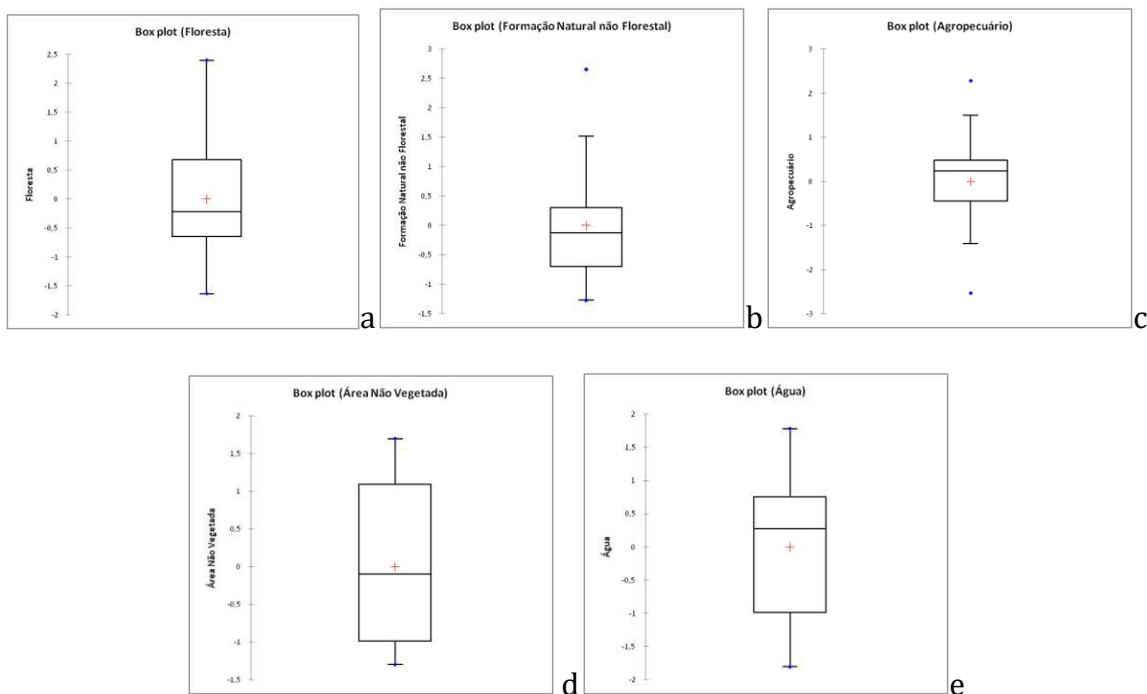


Figura 8. Boxplot das classes de cobertura e uso da terra. a) Floresta, b) Formação não natural, c) Agropecuária, d) Área não vegetada, e) corpos d'água.

No Teste de normalidade observa-se que a distribuição apresenta-se irregularidades nas classes Formação Natural Não Florestal (Figura 9b), Agropecuária (Figura 9c), Área Não Vegetada (Figura 9d) e Água (Figura 9e). Observa-se que a maior regularidade apresenta-se



na classe Floresta. Resultado similar encontrado por Francisco et al. (2021) avaliando bacia hidrográfica em região semiárida.

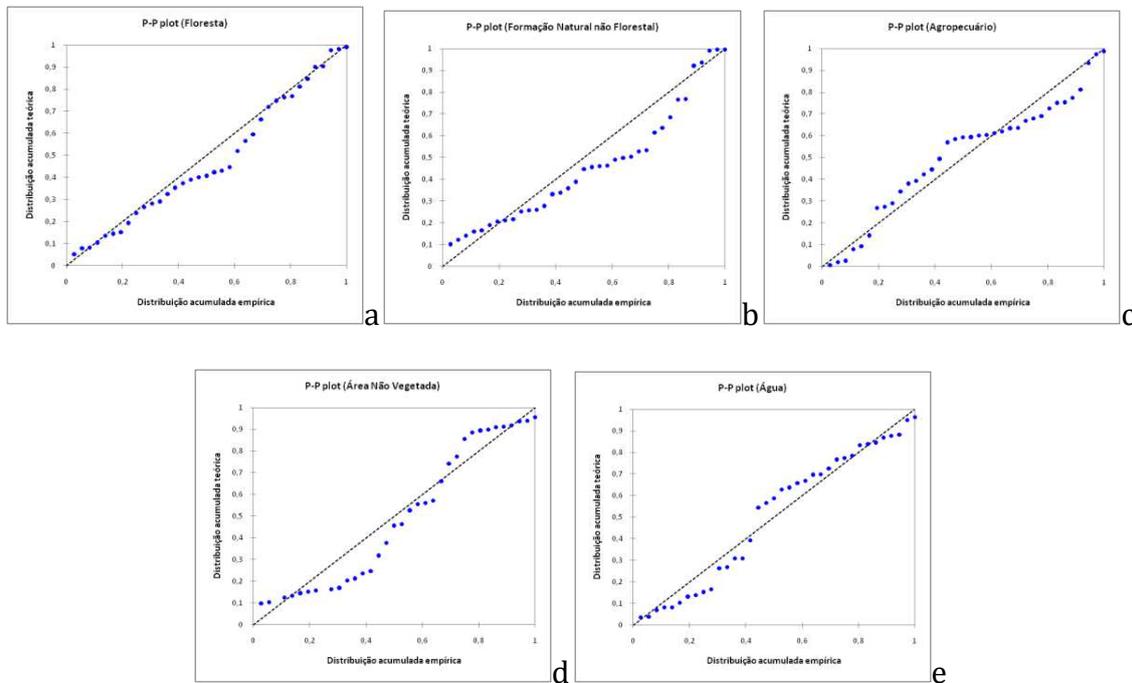


Figura 9. Boxplot das classes de cobertura e uso da terra. a) Floresta, b) Formação não natural, c) Agropecuária, d) Área não vegetada, e) corpos d'água.

Na Tabela 3 pode-se observar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera foram semelhantes entre si para a variável Formação Natural Não Florestal o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados. Resultado similar observado por Francisco et al. (2021).





Tabela 3. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Floresta	0,1931	0,2598	0,0927	0,3321
Formação Natural Não Florestal	0,0005	0,0005	0,0024	0,0038
Agropecuário	0,0888	0,0178	0,0331	0,4786
Área Não Vegetada	0,0017	0,0011	0,0126	0,1655
Água	0,0941	0,0647	0,1472	0,3447

Para a variável em estudo Área Não Vegetada os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling são semelhantes entre si. O teste de Jarque-Bera apresenta diferença entre todas as variáveis e os demais testes.

A concordância entre os testes utilizados neste trabalho, conforme o MapBiomass[®] (2021) é devido que a mesma utiliza imagens Landsat (TM, ETM+ e OLI) com a técnica Random Forest, onde realiza análise de acurácia onde os pontos são comparados aos mapas na geração da matriz de confusão e cálculo da acurácia global por bioma, além de erros de omissão e comissão por classe de cobertura e uso da terra, para cada ano estudado (GANEM et al., 2020).





CONCLUSÃO

A utilização da aplicação Web MapBiomass[®] como ferramenta para analisar o uso e cobertura dos solos proporcionou resultados satisfatórios com rapidez e precisão.

Observou-se que ocorreram mudanças significativas de área nas classes Formação Natural Não Florestal e Agropecuária onde ocorreram os maiores desvios.

A distribuição não se apresentou simétrica, a curtose indicou uma distribuição platicúrtica, onde as maiores variações de amplitude e distribuição irregular apresentaram-se nas classes Formação Natural Não Florestal e Agropecuária.

Pode-se afirmar que existe a concordância entre os testes utilizados neste trabalho e a análise de acurácia elaborada nas imagens pelo Mapbiomas[®].





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://geo.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 9 de julho 2018.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Precipitação máxima dos municípios/postos no período de 01/01/1990 até 01/04/2022. 2022. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=1990-01-01&produto=municipio&periodo=personalizado>. Acesso em: 11 de abril 2022.

ALMEIDA, D. N. O. DE; OLIVEIRA, L. M. M. DE; CANDEIAS, A. L. B.; BEZERRA, U. A.; LEITE, A. C. DE S. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.4, n.1, p.58-68, 2018.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, v.22, n.3, p.126-135, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu. Brasília, 2014. 312p. Disponível em: <http://piranhasacu.ana.gov.br/produtos/sinteseDiagnostico.pdf>. Acesso em: 08/04/2022.





ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. *Journal of American Statistical Association*, v.49, p.765-769, 1954.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M.; COUTINHO, A. C.; SANTOS, J. L. DOS; PARIZZI, T. N. T.; BERTOLO, L. S. Análise das mudanças do uso e cobertura da terra no Estado de Mato Grosso por meio do geoportal TerraClass. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

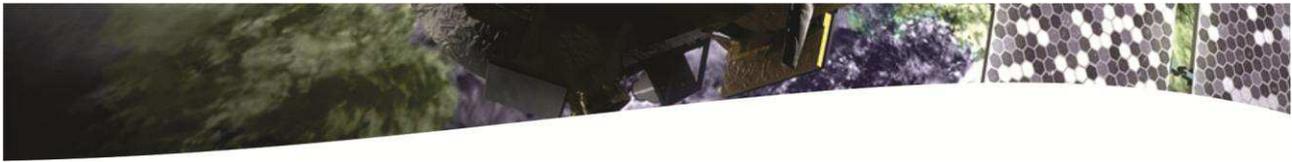
ASSIS, J. M. O. DE; CALADO, L. DE O.; SOUZA, W. M. DE; SOBRAL, M. DO C. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.5, p.859-870, 2014.

BARBOSA, I. S.; ANDRADE, L. A.; ALMEIDA, J. A. P. Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no município de Lagoa Seca, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.5, p.614-622, 2009.

BEZERRA, N. F. Água e desenvolvimento sustentável no semiárido. *Série Debates* n.24. FUNCEME. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2002.

BITENCURTIL, D. P.; MELO, F. P.; GOIS, D. V.; RUIZ-ESPARZA, J.; RIBEIRO, A. S.; FERRARI, S. F.; SOUZA, R. M. Análise multitemporal do desmatamento nos municípios de Canindé do São Francisco e Poço Redondo, SE. *Geosul*, v.32, n.63, p.117-137, 2017.





BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Interministerial N.º 1, de 9 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 mar. 2005. Seção 1, 41p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros. Brasília, 2006. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. Geoprocessamento para projetos ambientais. 2. ed. INPE. São José dos Campos, 1998. 194p.

CAMIA, A.; ROBERT, N.; JONSSON, R.; PILLI, R.; GARCÍA-CONDADO, S.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VELDE, M. VAN DER; RONZON, T.; GURRÍA, P.; M'BAREK, R.; TAMOSIUNAS, S.; FIORE, G.; ARAUJO, R.; HOEPFFNER, N.; MARELLI, L.; GIUNTOLI, J. Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment. Publications Office, 2018. 126p.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, V. E. R.; RIBEIRO, A. N.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, n.1, p.64-72, 2014.

COHN, A. S.; BHATTARAI, N.; CAMPOLO, J.; CROMPTON, O.; DRALLE, D.; DUNCAN, J.; THOMPSON, S. Forest loss in Brazil increases maximum temperatures within 50 km. *Environmental Research Letters*, v.14, n.8, 2019.





CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; METZGER, J. P.; CALMON, M.; SCARAMUZZA, C. A. DE M.; MATSUMOTO, M. H.; PADOVEZI, A.; BENINI, R. DE M.; CHAVES, R. B.; METZKER, T.; FERNANDES, R. B.; SCARANO, F. R.; SCHMITT, J.; LUI, G.; PINTO, S. There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v.17, n.2, p.80-83, 2019.

CUBA, N. Research note: Sankey diagrams for visualizing land cover dynamics. *Landscape and Urban Planning*, v.139, p.163–167, 2015.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.539-548, 2012.

CUNHA, J.; MARQUES, A. Análise dos principais fluxos de abastecimento de biomassa florestal em Portugal. *Silva Lusitana*, v.29, n.1, p.7-37, 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Geoinfo. Áreas Urbanas no Brasil em 2015. Disponível em: http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15. Acesso em: 11 de novembro de 2021.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; COUTINHO, A. C.; SANTOS, J. L. DOS; PARIZZI, T. N. T.; BERTOLO, L. S. Avaliação da dinâmica de uso e cobertura da terra em municípios da BAP a partir da plataforma Web dos dados TerraClass Amazônia. In: *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 7, 2018, Jardim. Anais...Jardim, 2018.





FACCO, D. S.; BENEDETTI, A. C.; KAISER, E. A.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Faxinal do Soturno no Estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Nacional de Geografia Física, 1, 2017, Campinas. Anais...Campinas, 2017.

FERNANDES, M. R. DE M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. DE; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. *Floresta Ambient.*, v.22, n.4, p.472-482, 2015.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais. Oficina de Texto.* São Paulo, 2002. 97p.

FRANCISCO, P. R. M. *Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas.* 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M. *Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB.* 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; AYRES, G. D. J.; SILVA, V. F.; OLIVEIRA, F. P. DE; SANTOS, D.; PEDROZA, J. P. Dinâmica temporal da cobertura e uso da terra da região do médio curso do rio Paraíba. In: (Org). FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N. *Tecnologias aplicadas as pesquisa: GEO 21. EPTEC*, 2021.130p.





FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Mapeamento das terras para mecanização agrícola - Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.2, p.233-249, 2012.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. DA. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.3, p.676-693, 2012.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, D.; MATOS, R. M. DE. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.

FRANCISCO, P. R. M.; MELLO, V. DA S.; BANDEIRA, M. M.; MACEDO, F. L. DE; SANTOS, D. Discriminação de cenários pluviométricos do estado da Paraíba utilizando distribuição Gama Incompleta e Teste Kolmogorov-Smirnov, v.9, n.1, p.47-61, 2016a.

FRANCISCO, P. R. M.; PEDROZA, J. P.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, L. L. DA; SANTOS, D. Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia*, v.33, n.1, p.248-262, 2016b.

FRANCISCO, P. R. M.; RIBEIRO, G. DO. N.; MORAES NETO, J. M. DE; ARAGÃO, K. P. Avaliação da degradação da caatinga do município de Sumé-PB estimado pelo Volume de Biomassa da Vegetação Lenhosa. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.1, p.117-129, 2014.





GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; OLIVEIRA, M. T. DE; FREITAS, R. M. DE; GRECCHI, R. C.; VIEIRA, R. M. DA S. P.; ARAI, E.; SILVA, F. B.; SAMPAIO, C. B. V.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da vegetação da caatinga a partir de dados ópticos de observação da terra – oportunidades e desafios. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.72, n. esp, p.829-854, 2020.

GIULIETTI, A. M.; NETA, A. L. DU B.; CASTRO, A. A. J. F. Diagnóstico da Vegetação Nativa do bioma Caatinga. In: TABARELLI, J. M. C.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (Orgs.). *Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 382p.

GOMES, S. O.; LIMA, V. N.; CANDEIAS, A. L. B.; SILVA, R. R. Uso e cobertura dos solos de Petrolândia utilizando MAPBIOMAS. In: *Congresso Brasileiro de Cartografia, 27, 2017, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 2017.*

GORELICK, N.; GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, v.202, p.18-27, 2016.

IBGE. *Biombras Brasileiros*. 2021. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biombras-brasileiros.html>. Acesso em: 2 de abril de 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de abril de 2021.





IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.

KENDALL, M. A.; STUART, A. *The advanced theory of statistics*. 2nd ed. Londres: Charles Griffin, 1967.

LENGLET, J.; COURTONNE, J.; CAURLA, S. Material flow analysis of the forest-wood supply chain: A consequential approach for log export policies in France. *Journal of Cleaner Production*, v.165, p.1296-1305, 2017.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v.62, n.318, p.399-402, 1967.

LIMA, J. S. DE S.; SATTLER, M. A.; XAVIER, A. C.; OLIVEIRA, R. B. DE; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, P. C. Variabilidade espacial da textura de um Argissolo Vermelho Amarelo sob cultivo de pastagem e vegetação nativa. *Ciência Rural*, v.39, n.9, p.2634-2637, 2009.

LIMA, V. N.; GOMES, S. O.; CANDEIAS, A. L. B.; SILVA, R. R. MAPBIOMAS e uso e cobertura dos solos do município de Brejinho, Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 27, 2017, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 2017.





MACEDO, M. L. A. DE; SILVA, G. J. F. DA; SOUZA, B. I. DE; LIMA, E. R. V. DE. Caracterização espaço-temporal e quantificação da cobertura vegetal no Alto Curso do Rio Paraíba-PB. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 16, 2015, Teresina. Anais...Teresina, 2015.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, n.3, p. 245-259, 1945.

MAPBIOMAS. MapBiomias General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). 2019. 42p.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil 2021. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 10 de abril de 2022.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.2, p.1973-1985, 2018.

MARCOS ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomias - Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. In: (Cord.) BARBOSA, L. M. Desafios do processo frente à crise ambiental. Instituto de Botânica. São Paulo, 2019. 278p.

MEDEIROS, B. M.; LISBOA, F. D. S.; DUARTE, I. G.; SILVINO, G. DA S. Análise temporal comparativa do comportamento da vegetação em área semiárida na região da bacia hidrográfica do rio Farinhas, Patos–PB. In: Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 1, 2016. Campina Grande. Anais...Campina Grande, 2016.





MEDEIROS, S. A. DE; NÓBREGA, R. A. DA; MORAES NETO, J. M. DE; BARRETO, A. B.; VASCONCELOS, G. N.; DINIZ, R. R. S. Investigação da influência do El Niño e da La Niña sobre a variabilidade da precipitação na cidade de Patos, Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.01, p.336-349, 2020.

MENEZES, H. E. A.; MEDEIROS, R. M. DE; SANTOS, J. L. G.; LIMA, T. S. Variabilidade climática para o município de Patos, Paraíba, Brasil. *Revista Verde*, v.10, n.3, p 37-41, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. Governo do Estado da Paraíba. Governo do Estado do Rio Grande do Norte. Proposta de Instituição do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, conforme Resolução nº 5, de 10 de abril, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. v.1. 2005. 227p. Disponível em: <http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/portal/wp-content/uploads/2016/07/Volume-I.pdf>. Acesso em: 11 de abril de 2022.

MOTOMIYA, A. V. DE A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAIIO, F. H. R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. *Pesq. Agropec. Trop.*, v.42, n.1, p.112-118, 2012.

NOVO, E. M. L. DE M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008. 308p.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Reviews Ecology*, 1973.





NOZAWA A. Carta do mundo ao milionésimo: subdivisões e localizações. Geografia (Londrina), v.4, p.49-53, 1987.

PAES-SILVA, A. P., CHAVES, I. DE B., SAMPAIO, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano. Agropecuária Técnica, v.24, n.1, p.47-59, 2003.

PAIVA, C. A.; OLIVEIRA, A. P. D. S.; MUNIZ, S. S.; CALIJURI, M. L.; SANTOS, V. J.; ALVES, S. D. C. Determination of the spatial susceptibility to Yellow Fever using a multicriteria analysis. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, v.114, 2019.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.

REDO, D.; AIDE, T. M.; CLARK, M. L. Vegetation change in Brazil's dryland ecoregions and the relationship to crop production and environmental factors: Cerrado, Caatinga, and Mato Grosso, 2001-2009. Journal of Land Use Science, v.8, n.2, p.123-153, 2013.

RIDD, M. K.; LIU, J. A. Comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. Remote Sensing of Environment, v.63, p.95-100, 1998.

SANTOS, A. G. B. DOS; BEZERRA, A. C.; NASCIMENTO, A. H. C. DO; SOUZA, L. S. B. DE; SILVA, J. L. B. DA; MOURA, G. B. DE A. Caracterização morfométrica e uso e ocupação do solo em bacia





hidrográfica do semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.2, p.1036-1043, 2021.

SANTOS, M. A. G. DOS; PEREIRA FILHO, W.; KUPLICH, T. M. Correlação entre índices de vegetação gerados a partir de dados de espectrorradiômetro. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. *Journal of Applied Meteorology*, v.36, n.7, p.958- 965, 1997.

SANTOS, R. M. Environmental analysis and temporal and spatial patterns of land use changes in São Félix do Araguaia municipality (MT, Brazil). Tese (Doutorado em Natural Resources Ecology). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

SCHMIDT, M. The Sankey diagram in energy and material flow management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, v.12, n.1, p.82–94, 2008.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3/4, p.591–611, 1965.

SILVA, J. M. O. Utilização de anos-padrão no estudo da variabilidade pluviométrica no município do Crato/Ceará. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v.1, p.2060-2072, 2017.





SILVA, A. DOS S.; SILVA, F. H. DOS S.; SANTOS, G. DOS; LEITE, M. J. DE. H. Desmatamento multitemporal no bioma Caatinga no município de Delmiro Gouveia, Alagoas. *Revista Verde*, v.14, n.5, ed. esp., p.654-657, 2019.

SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; SILVA, A. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semiárido de Pernambuco. *Revista Caatinga*, v.22, n.4, p.195-205, 2009.

SILVA, A. R. S.; D'ESQUIVEL, K. S.; ALMEIDA, L. D. S.; LIMA, M. A. C.; FIGUEIREDO, R. M. Dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itapicuru-Mirim, no nordeste baiano. In: *Engenharia, Agronomia e Geociência 2014-2021*. (Org) FRANCISCO, P. R. M.; FURTADO, D. A.; FERREIRA, A. C. Campina Grande: EPTEC, 2021. 193p.

SILVA, E. A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SÁ, I. B.; DUARTE, S. M. A. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta-PE. *Floresta*, v.43, n.4, p.611-620, 2013.

SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. Alteração da cobertura vegetal na sub-bacia do rio Espinharas de 2000 a 2010. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.2, p.202-209, 2014.

SILVA, V. A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na bacia hidrográfica do rio Colônia, Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.3, p.310-315, 2011.

SILVESTRE, A. L. *Análise de dados e estatística descritiva*. Escolar Editora. 2007.





SOUNDARARAJAN, K.; HO, H. K.; SU, B. Sankey diagram framework for energy and exergy flows. *Applied Energy*, v.136, p.1035-1042, 2014.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; MORAIS NETO, J. M.; MENESES, L. F.; GADELHA, A. G. Vulnerabilidades e impactos sócios econômicos e ambientais. *Engenharia Ambiental*, v.5, n.3, p.063-078, 2008b.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SOUSA, S. P. JR; NERY, A. R.; LIMA, A. N. Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando geoprocessamento. *Revista Caatinga*, v.21, n.3, p.22-30, 2008a.

VALLE, R. F. JR; SIQUEIRA, H. E.; GUIDOLINI, J. F.; ABDALA, V. L.; MACHADO, M. F. Diagnóstico de mudanças e persistência de ocupação do solo entre 1978 e 2011 no IFTM-Campus Uberaba, utilizando o Land Change Modeler (LCM). *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.15, p.672-681, 2012.

VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.

VIDAL, M. M.; BANKS-LEITE, C.; TAMBOSI, L. R.; HASUI, É.; DEVELEY, P. F.; SILVA, W. R.; METZGER, J. P. Predicting the non-linear collapse of plant–frugivore networks due to habitat loss. *Ecography*, v.42, n.10, p.1765-1776, 2019.





VIDAL-TORRADO, P.; LEPCSH, I. F.; CASTRO, S. S. DE. Conceito e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.4, p.145-192, 2005.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.6, p.608–614, 2013.





CURRICULUM DOS AUTORES

Paulo Roberto Megna Francisco: Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba - UFPB - CCA/Areia. Graduação em Engenharia Agrícola pela UFCG (2022). Doutorando em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia (2010) e Graduação em Tecnologia Agrícola - Mecanização pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru (1990). Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atuando atualmente como pesquisador e colaborador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande e Campus de Sumé. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola, capacidade de uso do solo, geoprocessamento, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de PDAs. Atuou como Consultor Ad hoc do CONFEA/MÚTUA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-Eptec.

paulomegna@gmail.com

João Miguel de Moraes Neto: Possui Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1995) e Doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (2003). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: degradação ambiental, geoprocessamento, desertificação, desastres naturais.

j.miguel.moraes@hotmail.com





Viviane Farias Silva: Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2013), mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2015) e doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2017). Pós Doutora em Recursos Naturais (2017-2019). Professora do Magistério superior da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal na área de ciências básicas, Engenharia e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande.

viviane.farias@professor.ufcg.edu.br

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

george@ufcg.edu.br

Djail Santos: Engenheiro Agrônomo (UENP-Campus Luiz Meneghel, 1990), Mestre em Solos e Nutrição de Plantas (UFLA, 1993) e Doutor em Crop and Soil Science (Michigan State University, MSU, 1998). Professor Titular do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com atuação na área de Manejo e Conservação de Solo e Água. Foi Diretor do CCA/UFPB por dois mandatos (2009-2013 e 2013-2017), Coordenador do PPG em Ciência do Solo (2020-2021), Coordenador do Curso de Agronomia (2006-2009) e Assessor de Pesquisa (2002-2006) do Campus II. É Docente Permanente do PPG em Ciência do Solo e do PPG em Agronomia, ministrando as disciplinas de Manejo e Conservação do Solo, e de Sistemas de Produção Orgânicos e Convencionais. Foi membro titular do Conselho Universitário (CONSUNI-UFPB) nos períodos de 2009-2017 e 2019-2021. Atuou como membro do Conselho Estadual de Desenvolvimento Rural Sustentável (CEDRS-PB) e do Conselho Técnico-Administrativo da EMATER-PB. Tem experiência na execução e coordenação de diversos programas e projetos vinculados a: CNPq, PNPd/CAPES, SECAD/MEC (Conexões de Saberes), SESu/MEC (PROEXT) e INCRA/MDA (PRONERA). Tem atuação em



ensino, pesquisa e extensão com ênfase em manejo e conservação de solo e água, qualidade do solo, aptidão agrícola das terras, sistemas de produção e agricultura sustentável.

santosdjail@gmail.com

Gypson Dutra Junqueira Ayres: *Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2005). Mestre em Engenharia Agrícola em Armazenamento e Construção Rural pela Universidade Federal de Campina Grande (2020). Doutorando em Engenharia Agrícola no PPGEA da UFCG. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Projetos no Banco do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a Construção Rural e Armazenamento, Automação e Monitoramento a Distância.*

fgypsond@gmail.com





978-65-00-51399-8