



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ERYADISON FLÁVIO BONIFACIO DE ARAÚJO

**DIAGNÓSTICO DO CARIRI PARAIBANO COMO BASE PARA PLANEJAMENTO
DE PAISAGENS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS**

AREIA
2023

ERYADISON FLÁVIO BONIFACIO DE ARAÚJO

**DIAGNÓSTICO DO CARIRI PARAIBANO COMO BASE PARA PLANEJAMENTO
DE PAISAGENS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Helder Farias Pereira de Araújo

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663d Araújo, Eryadison Flávio Bonifacio de.

Diagnóstico do Cariri Paraibano como base para planejamento de paisagens agrícolas sustentáveis / Eryadison Flávio Bonifacio de Araújo. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

38 f. : il.

Orientação: Helder Farias Pereira de Araújo.
TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Caatinga. 3. Cadastro ambiental rural. 4. Desertificação. 5. Sustentabilidade. I. Araújo, Helder Farias Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DE AGRONOMIA
CAMPUS II – AREIA - PB**

DEFESA DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

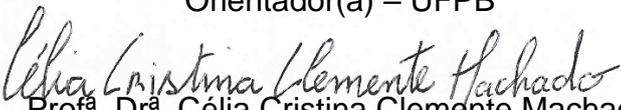
Aprovada em 16/06/2023

**“DIAGNÓSTICO DO CARIRI PARAIBANO COMO BASE PARA PLANEJAMENTO
DE PAISAGENS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS”**

Autor: Eryadison Flávio Bonifacio de Araújo

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Helder Farias Pereira de Araujo
Orientador(a) – UFPB


Prof.^a. Dr.^a. Célia Cristina Clemente Machado
Examinador(a) – UEPB

Prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo
Examinador(a) – UFPB

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 16/06/2023

FOLHA Nº 1/2023 - CCA - SIAG (11.00.44.24)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 19/06/2023 13:46)
HELDER FARIAS PEREIRA DE ARAUJO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
2677667

(Assinado digitalmente em 19/06/2023 15:57)
RAPHAEL MOREIRA BEIRIGO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
1083577

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: 1, ano: 2023, documento (espécie): FOLHA, data de emissão: 19/06/2023 e o código de verificação: 229a1999c0

Aos meus amados e queridos avós Geraldo e Rosalva (*in memoriam*), por apoiarem os meus sonhos e serem presentes em minha vida, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser porto seguro nos bons e nos maus momentos.

A Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, lugar que me abriu as portas ao conhecimento, me permitiu sonhar além, me fez crescer profissionalmente e pessoalmente.

A FAPESQ-PB pelo apoio e fomento à pesquisa pelo edital nº 09/2021 DEMANDA UNIVERSAL.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela chamada CNPq 18/2021 – Universal, pelo apoio e fomento, agradeço ainda pelas oportunidades oferecidas e incentivos a realização de projetos durante toda a graduação, que foram essenciais a minha formação.

Ao Professor e Orientador Dr. Helder Farias Pereira de Araújo, por todas as contribuições, oportunidades e incentivos dados a mim, desde o ano de 2020. Sou grato pelas trocas de conhecimento e pelo seu empenho na arte de ser professor. Sua ajuda foi de suma importância para a realização desse trabalho.

A professora Dra. Célia Cristina Clemente Machado por toda a contribuição dada a este trabalho, sua ajuda foi essencial.

Aos meus avós Geraldo e Rosalva (*in memoriam*) por serem os meus maiores incentivadores, obrigado por me forjarem com princípios e serem sinônimos de amor em minha vida.

A minha querida mãe Conceição Bonifacio, por me apoiar e ser meu ponto de paz, sem a sua dedicação e seus ensinamentos eu não seria metade da pessoa que sou, te amarei até o infinito!

Aos meus amados irmãos Jefferson Bonifacio e Ayanne Vitória, por estarem sempre dispostos a me ajudar, independentemente de qualquer situação, vocês são fontes da minha inspiração diária.

A todos os meus tios, em especial Tio Vanduy e Genaldo, por toda força e apoio que me foi dado, vocês foram essenciais para a realização desse sonho.

A minha namorada Emília Medeiros por me apoiar e ser meu aconchego, obrigado por toda compreensão e dedicação dada a mim.

Aos meus amigos de curso Franklin Corrêa, Rayan Araújo, Ítalo Luis, Vinícius Costa, André Oliveira, Felipe Diniz e em especial ao meu amigo Lucas Medeiros, por fazerem dessa jornada mais leve e divertida.

A minha amiga e irmã Bruna Thalia, pelo companheirismo durante toda essa graduação, obrigado pela sua amizade, pelas trocas de conhecimento e por me ajudar em todos os momentos. Levarei sua amizade para a vida.

As minhas amigas Sabrina Michaelly, Emily Mirlene, Ellen Vitória, Ana Alice Farias e Rosany Duarte, por todo apoio e conhecimento compartilhado.

Ao Programa NEXUS Caatinga (<https://nexuscaatinga.com.br/>) por me abrir portas e me apresentar a tantas pessoas especiais. Agradeço as professoras Dra. Lenyneves e Dra. Laís Angelica, por todo conhecimento compartilhado e por tornarem os campos divertidos. A todos os amigos integrantes do Programa Nexus a quem tive a oportunidade de me aproximar, em especial a Samandra Lima, Caio Gouveia, João Vitor, Ivânia Clêa, Jaqueliney Maia, Fiorett Luan, Gabriel Bratfisch, Natália Araujo, Marcos Felipe e Neto Carvalho, vocês fizeram os meus dias de campo mais felizes.

Aos meus amigos do laboratório de Sementes, pela acolhida e conhecimento trocado com muita animação, em especial, Guilherme, Joyce, Carol e Eduardo.

A todos os professores do CCA pela dedicação em compartilhar conhecimento, vocês têm uma mão inteira no meu crescimento como futuro engenheiro agrônomo.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente na realização do meu sonho, como minha avó dizia, “uma mão lava outra e a gente veio pra Terra pra se ajudar”.

*“Hoje estou mais crescido
Tanto tempo já passou
Sempre vou levar comigo
Tudo o que você me ensinou”*

(Paulo Sergio)

RESUMO

As paisagens sustentáveis são capazes de conciliar aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Maximizando os benefícios socioeconômicos e ambientais gerados pela sustentabilidade. O objetivo da pesquisa foi estabelecer um diagnóstico da estrutura e funcionamento de paisagens agrícolas no Cariri Paraibano, destacando como preditores agropecuários impactam os indicadores sociais, econômicos e ambientais. Ainda, foi realizado um confronto de áreas de vegetação nativa de Caatinga declaradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), com dados de Sensoriamento Remoto. Foram utilizadas informações sobre a quantidade de propriedades rurais, dados socioeconômicos, produção agrícola e cobertura vegetal, submetidos a modelos preditivos e aditivos. As áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente totalizaram 570.821 ha, ocupando cerca de 79,2% da área das propriedades rurais declaradas no CAR, contudo os dados de cobertura vegetal demonstraram que 0,67% (4.865 ha) das áreas das propriedades era de cobertura florestal, 6,97% (50.263 ha) de vegetação arbórea e 92,34% (664.994 ha) de vegetação aberta ou arbustiva, resultado de um histórico e corrente manejo inadequado no uso da terra e/ou exploração de recursos naturais. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) da região foi influenciado positivamente pela quantidade de tratores e uso de assistência técnica. O Produto Interno Bruto (PIB) também teve uma associação positiva com a quantidade de tratores por área de lavoura do município. As perdas de cobertura florestal e menor biomassa acima do solo foram associadas à agricultura familiar e produção florestal. O diagnóstico da região envolve zonas susceptíveis a desertificação, IDHM e PIB baixos, e demonstra que ações são necessárias para o desenvolvimento de paisagens agrícolas sustentáveis, principalmente envolvendo os agricultores familiares, pois o desenvolvimento sustentável na região é um processo que anda a passos lentos. Ainda, foi identificado que o CAR não faz distinção entre os tipos de vegetação, classificando áreas de vegetação degradada como vegetação preservada, requerendo avaliação e dados mais precisos que apoiem o desenvolvimento de ações sustentáveis. As variáveis agropecuárias utilizadas explicam pouco as variações nos indicadores de sustentabilidade, embora estejam relacionadas.

Palavras-chave: Caatinga; cadastro ambiental rural; desertificação; sustentabilidade.

ABSTRACT

Sustainable landscapes are able reconcile social, economic, and ecological aspects. Maximizing the socio-economic and environmental benefits generated by sustainability. The objective of the research was to establish a diagnosis of the structure and functioning of agricultural landscapes in Cariri Paraibano, highlighting how agricultural predictors impact social, economic, and environmental indicators. Also, a comparison of areas of native vegetation of Caatinga declared in the Rural Environmental Registry (CAR) was carried out, with data from Remote Sensing. Information on the number of rural properties, socioeconomic data, agricultural production, and vegetation cover and it was submitted to predictive and additive models. Legal reserve areas and permanent preservation areas totaled 570,821 ha, occupying about 79.2% of the rural area properties declared in the CAR, however, the vegetation cover data showed that 0.67% (4,865 ha) of the properties' areas was forest cover, 6.97% (50,263 ha) of woodland and 92.34% (664,994 ha) of open or shrubby vegetation, and this is a result of historical and current inadequate management in land use and/or exploitation of natural resources. The region's Municipal Human Development Index (MHDI) was positively influenced by the number of tractors and the use of technical assistance. Gross Domestic Product (GDP) also had a positive association with the number of tractors per crop area in the municipality. Forest losses and lower aboveground biomass were associated with family farming and forest production. The diagnosis of the region involves areas susceptible to desertification, low MHDI and GDP, and demonstrates that actions are necessary for the development of sustainable agricultural landscapes, mainly involving family farmers, why sustainable development in the region is advancing at a slow pace. Furthermore, it was identified that the CAR does not distinguish between vegetation types, by classifying degraded vegetation areas as preserved vegetation, requiring more accurate assessment and data to support the development of sustainable actions. The agricultural variables used explain little of the variations in the sustainability indicators, although they are related.

Keywords: Caatinga; rural environmental registry; desertification; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Mapa de localização do Cariri Paraibano.....20
- Figura 2** - Importância relativa das variáveis agropecuárias baseadas no algoritmo Random Forest sobre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita – R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo – Mg/ha (BAS).....26
- Figura 3** - Modelos Aditivos Generalizados demonstrando a associação de variáveis agropecuárias sobre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita - R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo - Mg/ha (BAS).....27

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Lista de variáveis agropecuárias com potencial impacto sobre indicadores sociais, econômicos e ambientais e que foram usados como preditores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita - R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo - Mg/ha (BAS). Fonte: Censo Agropecuário (IBGE 2017).....22
- Tabela 2** - Resultados do Random Forest utilizando variáveis agropecuárias como preditoras dos seguintes indicadores sociais, econômicos e ambientais: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita – R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo – Mg/ha (BAS). mtry = Número de preditores selecionados aleatoriamente em cada corte na árvore; RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio; R^2 = R quadrado; e o MAE = Erro médio absoluto.....25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
BAS	Biomassa Acima do Solo
Bov	Número de bovinos
Cap	Número de caprinos
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CCA	Centro de Ciências Agrárias
GAM	Modelos Aditivos Generalizados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
ha	Hectare
MAE	Erro Médio Absoluto
mtry	Número de preditores selecionados aleatoriamente em cada corte na árvore
ONU	Organização das Nações Unidas
PCF	Perda de Cobertura Florestal
PIB	Produto Interno Bruto
RF	Randon Forest
RL	Reserva Legal
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Rápida
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
V2	Área Média dos Estabelecimentos Agropecuários
V7	Área lavoura / Trator
V13	Produção Florestal
V16	Uso das Terras - Lavoura
V17	Uso das Terras – Pastagem
V36	Uso de Irrigação
V37	Assistência Técnica
V38	Agricultura Familiar

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
\$	Cifrão
<	Menor que

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Desenvolvimento Sustentável</i>	17
2.1.1	<i>Conceito</i>	17
2.1.2	<i>Indicadores de sustentabilidade</i>	18
2.2	<i>Paisagens agrícolas sustentáveis</i>	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	<i>Área de Estudo</i>	20
3.2	<i>Coleta de Dados</i>	21
3.3	<i>Análises Estatísticas</i>	22
4	RESULTADOS	24
4.1	<i>Diagnóstico geral</i>	24
4.2	<i>Relação entre as variáveis agropecuárias e os indicadores de sustentabilidade</i>	25
5	DISCUSSÃO	29
6	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é um conceito que vem sendo popularizado durante as últimas décadas em todo o mundo. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2021) explica que essa expressão é marcada pela união do desenvolvimento econômico, social e ambiental, considerados os pilares do desenvolvimento sustentável, sendo um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade. Dessa forma, as paisagens sustentáveis surgem como uma concepção moderna do conceito paisagem, atrelado ao desenvolvimento da sociedade, maximizando os aspectos econômicos, sociais e ambientais (IIS, 2015)

Indicadores econômicos e sociais são historicamente e amplamente utilizados no meio político e científico, como exemplo o Produto Interno Bruto (PIB) e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), respectivamente, para avaliar o desenvolvimento. Apenas mais recentemente, indicadores ambientais foram inseridos nas métricas de desenvolvimento (SILVA; WHEELER, 2017). Portanto, de modo simplificado, espera-se que o desenvolvimento sustentável seja realmente demonstrado quando os indicadores dos três componentes apresentem valores relativamente altos.

Um elemento chave na busca de um futuro sustentável é o Nexus. O Nexus (do latim *nectere*, significa ligar) tem sido amplamente utilizado para examinar as ligações entre diferentes setores e desafios enfrentados na busca pela sustentabilidade, como a interconexão entre água, energia, segurança alimentar, biodiversidade, mudança climática e pobreza. A compreensão dessas interações complexas torna-se fundamental para abordar os desafios globais de forma integrada. O Nexus não substitui a sustentabilidade, mas refere-se a interconexão dos 3 pilares de sustentabilidade, por isso ele pode ser considerado com um caminho para alcançar a sustentabilidade.

Embora iniciativas tenham sido propostas nas últimas décadas para um desenvolvimento sustentável na Caatinga, região do semiárido brasileiro, essas práticas ainda não atingiram resultados satisfatórios em nenhum dos três pilares (VIEIRA, 2002; SÁ; SILVA, 2010). A região continua caracterizada por atividades econômicas baseadas em sistemas agrícolas de baixa produtividade, uma crescente degradação dos recursos naturais e os piores indicadores sociais do Brasil (SILVA et al., 2017). Uma forte questão histórica e cultural está relacionada com o sistema de

desenvolvimento ainda presente no semiárido brasileiro, como por exemplo, a pecuária extensiva, um modelo agrícola baseado no exemplo da histórica produção de algodão herbáceo na região, e queimadas junto com retirada de madeira (COSTA; BUENO, 2004; SANTOS, 2011; SIQUEIRA-FILHO, 2012).

No entanto, esse modelo agropecuário convencional compromete a qualidade do solo, influencia a perda de sedimentos, água, carbono orgânico e nutrientes, bem como pode estar associado a processos erosivos no semiárido brasileiro (MAIA et al., 2006). Com o histórico dessas práticas, várias áreas da região são caracterizadas como susceptíveis à desertificação e a principal consequência disso é a perda de serviços ecossistêmicos. Outras consequências podem ser observadas na região, como: alterações climáticas, perda de biodiversidade, degradação dos solos, diminuição das áreas agricultáveis, diminuição da produção agrícola, aumento de perdas econômicas, aumento da pobreza e aumento do êxodo rural (SANTANA, 2007; SÁ; SILVA, 2010; TAVARES; RAMOS, 2016).

Atualmente, mais de 90% da Caatinga é susceptível à desertificação (VIEIRA et al., 2015), com um colapso abrupto na prestação de serviços ecossistêmicos, que afeta 28,6 milhões de pessoas, onde são registrados os mais baixos indicadores de desenvolvimento humano do Brasil (SILVA et al., 2017). Por esses motivos, a região foi recentemente apontada como um ecossistema extremamente ameaçado (FERRER-PARIS et al., 2019), ou seja, com alto risco de seus limites biofísicos serem ultrapassados e sua capacidade de resiliência colapsada (BLAND et al., 2017). Embora essa trajetória seja preocupante, o cenário socioecológico da Caatinga oferece uma excelente oportunidade para investigar como fatores históricos e contemporâneos do uso do solo afetam os serviços ecossistêmicos fornecidos pela cobertura natural, bem como a forma que esses serviços podem contribuir para um desenvolvimento sustentável.

Recentemente, foi demonstrado que paisagens agrícolas sustentáveis na Caatinga devem manter e/ou restaurar cobertura natural, implementar sistemas agrícolas com uso eficiente de água, manutenção de umidade no solo, diversidade e rotação de culturas, e interação lavoura-pecuária (ARAUJO et al., 2021). As raras unidades produtivas que seguem esses princípios são capazes de atingir altos rendimentos na produção agropecuária, comparáveis a altos níveis ao redor do mundo, de forma sustentável (ARAUJO et al., 2021). Para deferir esses padrões de sustentabilidade são necessários indicadores que considerem aspectos sociais,

econômicos e ambientais do desenvolvimento regional. Entender como esses indicadores respondem às atividades agropecuárias (preditoras) é essencial para compreensão do cenário das paisagens e planejamento territorial.

Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo geral estabelecer um diagnóstico da estrutura e funcionamento de paisagens agrícolas no Cariri Paraibano, e os seguintes objetivos específicos: comparar informações ambientais declaradas pelos proprietários rurais, sobre áreas de vegetação nativa de Caatinga no Cadastro Ambiental Rural (CAR), com dados de Sensoriamento Remoto; e destacar como os preditores agropecuários influenciam os indicadores sociais, econômicos e ambientais na região do Cariri Paraibano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Desenvolvimento Sustentável*

A palavra sustentabilidade descreve uma condição saudável e dinâmica da biosfera da Terra e seus vários sistemas, é vista geralmente como uma meta a ser alcançada, sendo a capacidade de continuidade de uma condição ou característica no futuro a longo prazo (HEINTZ, 2004; FLINT, 2013). Em contrapartida, o desenvolvimento sustentável consiste no processo de se dirigir a esse estado final ideal de equilíbrio entre a biosfera terrestre e seus sistemas (FLINT, 2013).

2.1.1 *Conceito*

O conceito de desenvolvimento sustentável foi elaborado por uma série de reuniões internacionais tendo início pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, sigla em inglês) das Nações Unidas, tendo como produto o *Relatório Brundtland*. Nesse relatório é dito que:

...desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras... é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (WCED, 1987, p. 41).

Para isso o desenvolvimento sustentável foi pensado para ser sustentado por três pilares essenciais, o desenvolvimento ambiental, econômico e social (ONU, 2021), uma vez que ele é uma construção que visa preservar o planeta, mas também criar condições estáveis que sustentem a nossa qualidade de vida socioeconômica (FLINT, 2013).

O desenvolvimento ambiental refere-se a busca incessante pela melhoria da qualidade ambiental, de forma que as próximas gerações possam usufruir dela de forma satisfatória, o desenvolvimento social refere-se a busca pela redução das desigualdades sociais, fornecendo melhor qualidade de vida e justiça social, já o desenvolvimento econômico refere-se a como o desempenho econômico influencia os aspectos de sustentabilidade (AQUINO et al., 2014).

Contudo nada adianta falar sobre desenvolvimento sustentável sem que haja uma forma de mensurá-lo, e foi dessa necessidade que surgiram os indicadores de sustentabilidade.

2.1.2 Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores estão presentes em nossa vida cotidiana e nos auxiliam a entender e interpretar a forma como vemos o mundo (MEADOWS, 1998). O termo indicar vem do latim *indicare* e significa apontar para algo (HAMMOND et al., 1995). Waas et al. (2014) dizem que, um indicador sempre estará relacionado a um valor de referência, pois ele aponta para algo, em caso de ausência de um valor de referência o indicador não passa de uma variável. Nesse sentido a definição de indicador é:

Um indicador é a representação operacional de um atributo (qualidade, característica, propriedade) de um determinado sistema, por uma variável quantitativa ou qualitativa (por exemplo, número, gráficos, cores, símbolos) (ou função de variáveis), incluindo seu valor, relacionado a um valor de referência (WAAS et al., 2014).

Nessa perspectiva indicadores de sustentabilidade surgiram como uma proposta para definir padrões sustentáveis de desenvolvimento que considerassem aspectos ambientais, econômicos e sociais (AQUINO, et al., 2014). Eles têm a função de operacionalizar o desenvolvimento sustentável (BELL; MORSE, 2008) e levar a discussão sobre esse tema a outro patamar, sair de uma conversa abstrata, para uma conversa com dados reais (WAAS et al., 2014). Pínter et al. (2012) consideram que “mudar a forma como a sociedade mede o progresso representa um ponto de alavancagem fundamental para combater as causas profundas do desenvolvimento insustentável”.

Percebendo a importância que os indicadores possuem, é essencial que eles apresentem uma série de características para serem considerados relevantes, como: serem simples e de fácil compreensão; fornecerem um quadro representativo da situação; mostrarem tendências ao longo do tempo, fornecerem bases para comparações, serem aplicáveis a regiões que tenham relevância, entre outras características (KRAMA, 2008).

2.2 Paisagens agrícolas sustentáveis

As tendências atuais apontam para um aumento na demanda de produtos agrícolas e serviços ecossistêmicos durante o século XXI, de maneira que exigirá uma busca pelo equilíbrio entre a agricultura de produção e a conservação da biodiversidade (SCHEER; MCNELLY, 2008). Pois em muitos casos o aumento da produção de alimentos tem se dado às custas da conservação da natureza (UZÊDA et al., 2017).

A conversão de áreas naturais em áreas produtivas é geralmente responsável pela erosão da biodiversidade em paisagens agrícolas (BUTCHART et al., 2010). Quando aliada com a simplificação da paisagem, o cenário torna-se ainda pior, uma vez que a manutenção de processos e serviços ecossistêmicos são afetados negativamente (FRISON; CHERFAS; HODGKIN, 2011). É importante apontar que tanto os sistemas agrícolas de baixo rendimento, quanto os de alto rendimento tem efeitos ecológicos profundos, uma vez que o uso excessivo da terra e a má gestão de pesticidas poluem a água e o solo (SCHERR; MCNELLY, 2008).

Por isso, faz se importante pensar na implementação de paisagens agrícolas sustentáveis, pois elas têm a capacidade de fazer o melhor uso dos bens e serviços da natureza e das tecnologias (PRETTY, 2008) e práticas humanas para melhorar a vida dos trabalhadores rurais, aumentando a produtividade agrícola, protegendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, reduzindo a poluição e aumentando a resiliência da paisagem (ARAUJO et al., 2021).

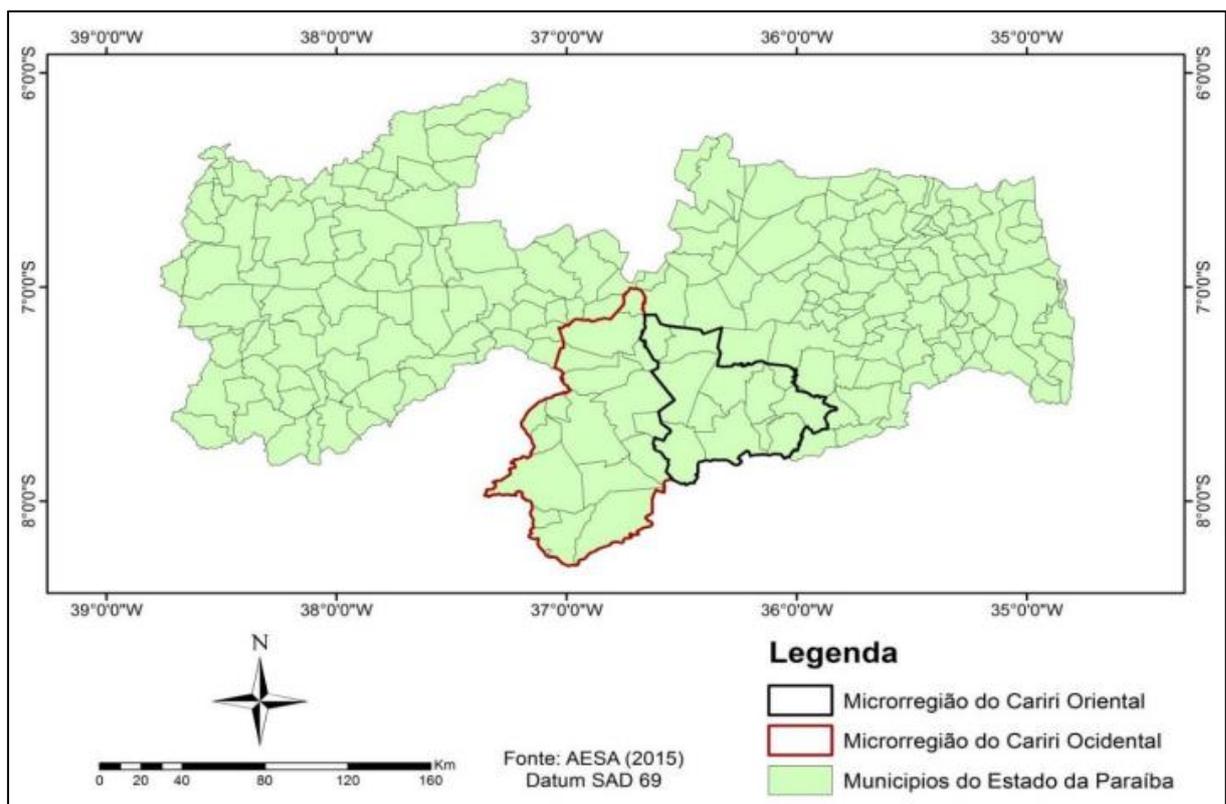
Paisagens agrícolas sustentáveis assemelham-se a paisagens de ecoagricultura, pois são mosaicos contendo em sua constituição: áreas naturais (com alta qualidade de habitats e nichos, capazes de oferecer serviços ecossistêmicos, não ofertados por áreas de produção); áreas de produção agrícola (produtivas, lucrativas e que atendem as necessidades de segurança alimentar); e mecanismos institucionais para alcançar objetivos de produção, conservação e subsistência (SCHERR; MCNELLY, 2008). Além disso elas buscam maximizar as sinergias ecológicas (ambientais), econômicas e sociais e minimizar os conflitos (SCHERR; MCNELLY, 2008) entre esses pilares do desenvolvimento sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Até o século 18 a região do Cariri Paraibano era caracterizada por uma vegetação extensa, fechada e de porte arbóreo. A partir do século 19, até a década de 70, a vegetação original foi substituída, principalmente em virtude das plantações de algodão. A ocorrência da praga do bicudo (*Anthonomus grandis*) e a competição com fibras sintéticas no mercado internacional (SOUZA; SOUZA, 2016), levaram ao abandono da cultura do algodão. De forma que o Cariri Paraibano passou a ser caracterizado pelo uso exploratório da vegetação sucessional e criação extensiva de ruminantes.

Figura 1 – Mapa de localização do Cariri Paraibano.



Fonte: Alves, Azevedo e Farias (2015).

O Cariri Paraibano (Oriental e Ocidental) está localizado no Nordeste Brasileiro e é composto por 29 municípios (Figura 1), ocupando uma área de 11.236,4 km², com população de aproximadamente 196.063 habitantes e densidade demográfica média de 17,29 hab/km² (IBGE, 2020). Os índices de desenvolvimento humano municipais (IDHM) são considerados baixos, variando de 0,55 a 0,64 (PNUD, 2013). O clima da

região é BSh (semiárido quente), com precipitação anual girando em torno de 350 a 700 mm, sendo considerado um dos locais mais secos do Brasil (ALVARES et al., 2013).

3.2 Coleta de Dados

As informações obtidas para o diagnóstico nos 29 municípios que compõem o Cariri Paraibano foram provenientes de diversas fontes. Primeiro, foi feita a busca de dados de configuração das propriedades rurais de acordo com informações fornecidas pelos próprios proprietários, a partir do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Segundo, foram obtidos dados socioeconômicos (IBGE, 2017) e de produção agrícola (SIDRA, 2017) de bases disponíveis. Terceiro, foram obtidos dados da cobertura vegetal do mapa global de cobertura de árvores, numa resolução de 30m (HANSEN et al., 2013). Para extração dos dados do CAR, disponibilizados em formato vetorial, procedimentos de análise vetorial espacial foram realizados no software QGIS 3.16 para compilação das informações específicas por município, para mapear as áreas de preservação permanente (APP), reserva legal e vegetação nativa.

Comparando com as imagens do Google Earth Pro e usando a experiência de campo, além de consultar literatura (BEUCHLE et al., 2015; FAO, 2012; VANDENDRIESCHE, 2013), usamos o *raster* de Hansen et al. (2013) para categorizar as células com mais de 70% de cobertura de árvores com mais de 5 m de altura como floresta (forest), 40-70% como vegetação arbórea (woodland), e menos de 40% como vegetação aberta ou arbustiva (shrubland). Após a classificação *raster*, executou-se uma conversão para *shapefile*. Todos os dados tabulados foram adicionados ao vetor dos municípios em estudo, em sua tabela de atributos no QGIS 3.16.

Os dados agropecuários (IBGE, 2017) com maior possibilidade de impactar os indicadores sociais, econômicos e ambientais foram agrupados (Tabela 1) e submetidos a análises estatísticas, a fim de avaliar o nível de importância desses preditores no desenvolvimento sustentável de cada município. Os indicadores foram: 1) Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) (indicador social), 2) Produto Interno Bruto Per Capita - R\$ (PIB) (indicador econômico), 3) % de Perda de Cobertura Florestal a partir de ano 2000 (PCF) e Biomassa Acima do Solo - Mg/ha (BAS) (indicadores ambientais). Essas variáveis resposta foram oriundas de fontes disponibilizadas gratuitamente: IDHM, PIB, PCF (<https://data.globalforestwatch.org>), e BAS (<https://data.globalforestwatch.org>).

Tabela 1 - Lista de variáveis agropecuárias com potencial impacto sobre indicadores sociais, econômicos e ambientais e que foram usados como preditores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita - R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo - Mg/ha (BAS). Fonte: Censo Agropecuário (IBGE 2017).

Preditor	Descrição	Código	Unidade
Área média dos estabelecimentos agropecuários	Quociente entre a área total e a quantidade de estabelecimentos agropecuários localizados no município	V2	hectares (ha)
Área lavoura / Trator	Média da área de lavouras por trator, por município, calculada pelo quociente entre a área total de lavouras e a quantidade de tratores	V7	hectares (ha)
Produção Florestal	Percentual de estabelecimentos pertencentes ao Grupo de Atividade Econômica Produção Florestal (florestas plantadas e florestas nativas), em relação ao total de estabelecimentos agropecuários do município.	V13	%
Uso das terras-Lavoura	Percentual de área classificada como lavoura (temporária + permanente), em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários do município.	V16	%
Uso das terras-Pastagem	Percentual de área classificada como pastagem (natural + plantada), em relação à área total dos estabelecimentos agropecuários do município.	V17	%
Uso de irrigação	Percentual de estabelecimentos agropecuários com declaração de uso de irrigação em relação ao total de estabelecimentos agropecuários no município.	V36	%
Assistência Técnica	Percentual de estabelecimentos agropecuários com declaração de assistência técnica em relação ao total de estabelecimentos agropecuários no município.	V37	%
Agricultura familiar	Percentual de estabelecimentos agropecuários classificados como Agricultura Familiar em relação ao total de estabelecimentos agropecuários no município.	V38	%
Número de bovinos	Número de animais bovinos por município	Bov	número (n)
Número de caprinos	Número de animais caprinos por município	Cap	número (n)

Fonte: Autoral

3.3 Análises Estatísticas

Para avaliar a relação entre as variáveis agropecuárias preditoras e indicadores sociais (IDHM), econômicos (PIB) e ambientais (Perda de Cobertura florestal - PCF, Biomassa acima do solo - BAS) utilizamos o modelo preditivo (*Predictive Model with Machine Learning*) Random Forest (RF) (BREIMAN, 2001). Em geral, o algoritmo de RF é robusto e um dos mais usados em análises de modelos preditivos. Possui poucas

premissas e pré-processamento de dados e geração de modelos preditivos com alto desempenho, projetados para evitar overfitting, que é quando o modelo em fase de teste tem bom desempenho, mas quando testado definitivamente possui péssimo desempenho (BREIMAN, 2001; CUTLER et al., 2007). Por meio de algoritmos de árvore de decisão, o RF produz classificações ou modelos de regressão, como no caso avaliado aqui. Um ajuste de modelo dos parâmetros é ser definido como tentativa de aumentar o desempenho do modelo, onde cada modelo apresenta seus parâmetros de ajuste específicos. As análises foram feitas usando o pacote caret no software R (KUH N et al., 2021).

Para avaliar o desempenho dos modelos, foram utilizados os valores de mtry (número de preditores selecionados aleatoriamente em cada corte na árvore), RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio), R^2 e MAE (Erro Médio Absoluto). Selecionamos o melhor modelo com base nas funções bestTune e finalModel no caret. No final, as variáveis selecionadas pelo modelo foram organizadas em um ranking de importância. A importância da variável é um valor que mede o número de vezes que aumentou o desempenho do modelo, quando um preditor específico foi incluído no modelo. Portanto, a importância da variável está intimamente relacionada ao desempenho do modelo (KUH N et al., 2020) e os valores relativos são escalados entre 0 e 100.

Para interpretar as associações das variáveis preditoras mais bem ranqueadas pelo RF com as variáveis resposta (indicadores), nós usamos Modelos Aditivos Generalizados (MAG) com as variáveis preditoras que tiveram mais de 70% de importância relativa. MAG correspondem a uma técnica para ajustar automaticamente uma regressão *spline*. *Splines* fornecem uma maneira de interpolar suavemente pontos fixos, chamados de nós. A regressão polinomial é calculada entre nós. Em outras palavras, *splines* são séries de segmentos polinomiais unidos em nós (BRUCE; BRUCE, 2017). Essas análises foram feitas usando o pacote mgcv no software R.

4 RESULTADOS

4.1 Diagnóstico geral

Os 29 municípios que constituem o Cariri Paraibano possuíam, até fevereiro de 2020, 18.509 imóveis rurais cadastrados no CAR, totalizando uma área de 720.123,042 ha, cerca de 64% do total da região em estudo. De acordo com o boletim informativo de 30 de novembro de 2019 (CAR, 2019), a Paraíba apresenta 96,70% da área rural cadastrada. Os municípios desta região apresentam propriedades com área média que variam entre 101 ha (São João do Cariri) e 17,5 ha (Caturité).

A região do Cariri apresenta em média um Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,597, variando de 0,552 em São João do Tigre a 0,641 em Coxixola. O PIB per capita da região, de acordo com o IBGE em 2018, apresenta média de R\$ 10.187,00 variando de R\$ 7.746,28 em Alcantil a R\$ 15.980,78 em Monteiro. Uma atividade com grande força histórica e econômica na região é a pecuária. De acordo com o SIDRA (2017), há aproximadamente 27.261 estabelecimentos de criação de bovinos, totalizando 220.052 animais e 23.222 estabelecimentos de criação de caprinos, totalizando 505.977 animais.

As Áreas de Preservação Permanentes cadastradas estão localizadas em bordas das principais drenagens e entorno de nascentes. Em média, 38,19% das propriedades da região não apresentaram APPs registradas, sendo Monteiro o município com menor registro (18,81%). Dos imóveis com APPs registradas, estas ocupam em média 10,23% da área da propriedade, variando de 4,21% em Camalaú a 17,32% em Coxixola.

As áreas de reserva legal (RL) são áreas dentro do imóvel rural onde é mantida a cobertura vegetal nativa. De acordo com o levantamento do CAR, 6,74% dos imóveis não apresentavam RL, sendo o município de Taperoá com menor registro (71,92%). Dos imóveis com RL registrada, estas ocupam em média 23,20% da área da propriedade, variando de 16,94% em Taperoá e 28,29% na Prata. Na Caatinga o percentual mínimo de cobertura vegetal nativa a título de reserva legal (Lei nº12.651, 2012) é designado em 20% do imóvel.

Em média, cerca de 15,44% dos imóveis cadastrados no Cariri não registraram área de vegetação nativa. Dos imóveis que cadastraram área de vegetação nativa, observa-se uma média de 47,93% da propriedade, variando de 28,10% em Monteiro e 70,48% em Riacho de Santo Antônio. Ao somar as áreas registradas de vegetação

nativa, APP e Reserva legal, totalizam-se 570.821 ha, 79,2% da área das propriedades rurais declaradas no CAR.

Quando confrontado os dados registrados no CAR com os dados de cobertura florestal e arbórea (HANSEN et al., 2013), observa-se que apenas 0,67% das áreas das propriedades apresentam cobertura florestal, cerca de 4.865 ha, e 6,97% é de vegetação arbórea, que representa 50.263 ha. Esse tipo de vegetação corresponde aos poucos remanescentes de vegetação nativa, com menor impacto histórico do uso da terra. Por outra lado, 92,34% de vegetação aberta ou arbustiva, cerca de 664.994 ha cadastrada como vegetação nativa, corresponde a cobertura degradada.

4.2 Relação entre as variáveis agropecuárias e os indicadores de sustentabilidade

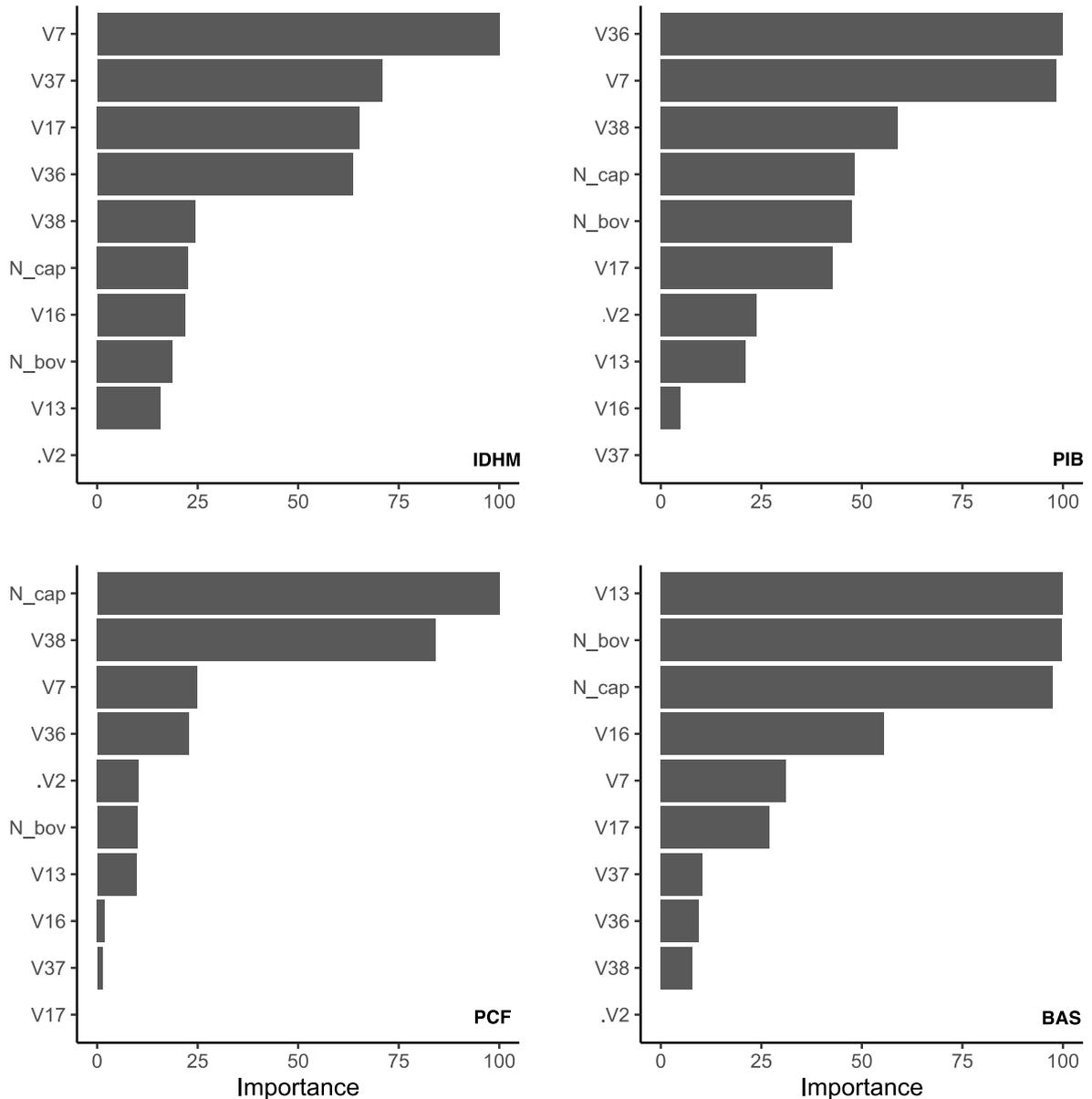
Em geral, as variáveis agropecuárias atuais explicam pouco ($R^2 < 0.15$) os indicadores de sustentabilidade (Tabela 2). Área lavoura/Trator (V7) e Assistência Técnica (V37) foram as mais associadas ao IDHM, uso de Irrigação (V36) e V7 foram as mais associadas ao PIB, número de Caprinos (Cap) e a Agricultura Familiar (V38) a % PCF, e Produção florestal (V13), o número de Bovinos (Bov) e Cap à BAS (Figura 2).

Tabela 2 – Resultados do Random Forest utilizando variáveis agropecuárias como preditoras dos seguintes indicadores sociais, econômicos e ambientais: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita – R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo – Mg/ha (BAS). mtry = Número de preditores selecionados aleatoriamente em cada corte na árvore; RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio; R^2 = R quadrado; e o MAE = Erro médio absoluto.

Indicadores	mtry	RMSE	R^2	MAE
IDHM	2	0.03	0.06	0.02
PIB	2	1311.66	0.14	1100.77
PCF	2	1.99	0.14	1.47
BAS	2	11.43	0.13	9.73

Fonte: Autoral.

Figura 2 - Importância relativa das variáveis agropecuárias baseadas no algoritmo Random Forest sobre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita – R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo – Mg/ha (BAS).

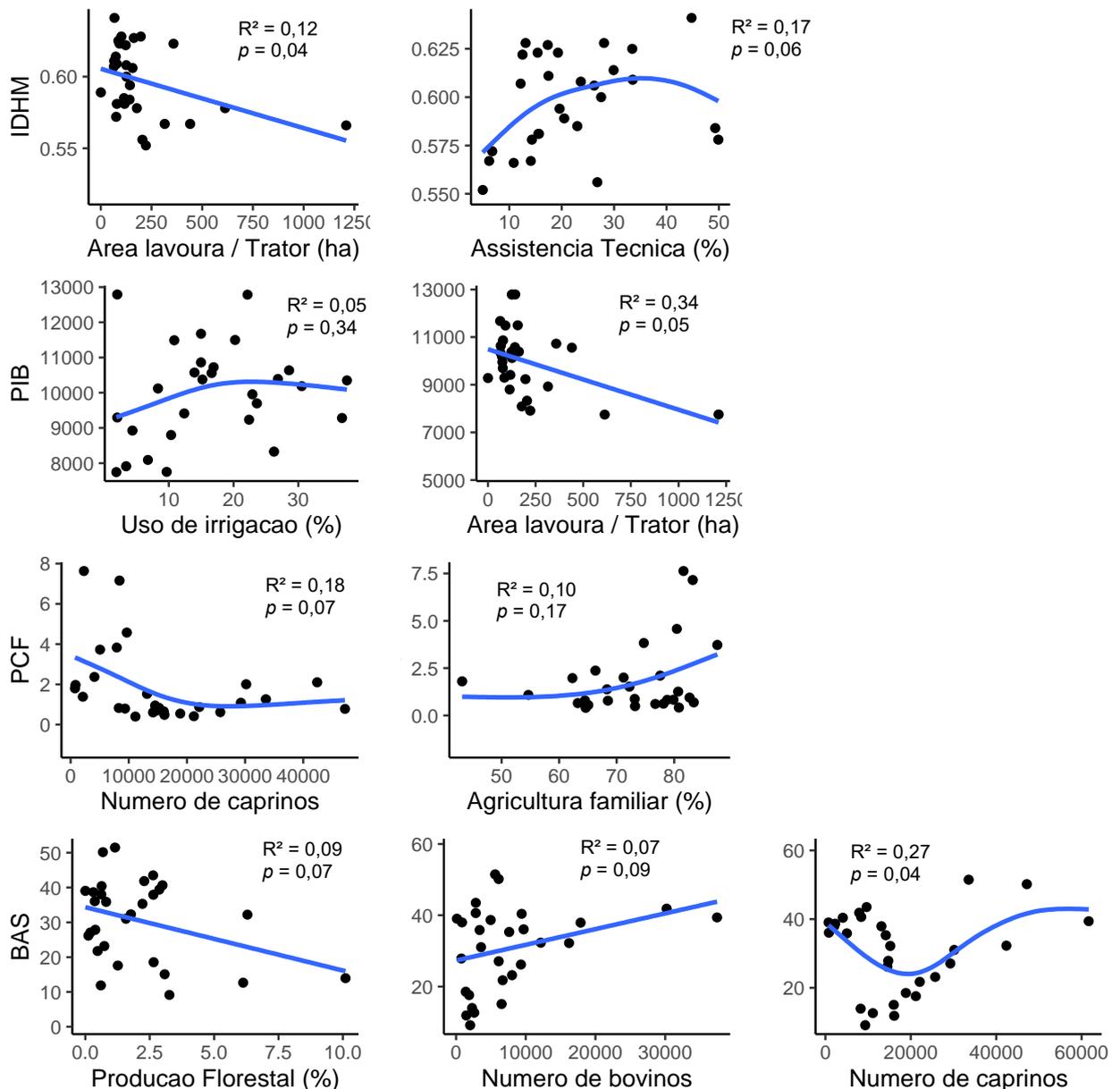


Fonte: Autoral.

A taxa de Área lavoura/Trator (V7) explica 12% e Assistência Técnica 27% da variação do IDHM na região (Figura 3). V7 associa-se aumentando o IDHM quando há mais tratores por unidade de área, ao diminuir o número de tratores nos municípios ou propriedades, ocorre queda no IDHM (Figura 3). A assistência técnica relacionada a práticas agrícolas está associada a um maior IDHM até que 40% dos estabelecimentos recebam esse tipo de suporte, ao aumentar a cobertura de

assistência para os estabelecimentos agropecuários o IDHM tende a diminuir (Figura 3).

Figura 3 - Modelos Aditivos Generalizados demonstrando a associação de variáveis agropecuárias sobre o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), Produto Interno Bruto Per Capita - R\$ (PIB), % de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 (PCF), Biomassa Acima do Solo - Mg/ha (BAS).



Fonte: Autoral.

Área lavoura/Trator (V7) também explica 34% da variação do PIB, enquanto o Uso de Irrigação (V36) contribuiu com 5% (Figura 3). O PIB da região é impactado positivamente até que 20% das propriedades façam uso de irrigação. Ao aumentar a

quantidade de propriedades que utilizem esta tecnologia, o PIB não é mais impactado na mesma proporção. A quantidade de tratores por área de lavoura é um fator associado positivamente ao PIB, quando o número de tratores é reduzido ou ocorre aumento nas áreas de lavoura, observamos valores menores do PIB da região (Figura 3).

Número de caprinos (Cap) explicou em 18% da variação da % de Perda de Cobertura Florestal, enquanto a Agricultura Familiar (V38) impacta nessa variação em 10% (Figura 3). A relação entre o número de Caprinos e a de Perda de Cobertura Florestal a partir de 2000 é curiosa, pois menores quantidades de rebanho estão em locais com maior perda florestal. Por outro lado, conforme há aumento na população de caprinos essa perda torna-se menor, ficando abaixo de 2% (Figura 3). No entanto, ao aumentar o número de propriedades que exercem a agricultura familiar, observa-se o aumento nessa perda de cobertura florestal. Essa perda é constante até o momento em que 60% das propriedades desenvolvam a agricultura familiar, e torna-se maior com o aumento no número das propriedades que exercem essa prática (Figura 3).

Por fim, Cap explica 27% da variação na Biomassa Acima do Solo (BAS), Produção florestal (V13) explica 9% e o Número de bovinos (Bov) explica 7% da variação desse indicador (Figura 3). Os maiores rebanhos de bovinos estão relacionados a municípios com maiores índices de BAS, em contrapartida os menores valores de BAS estão relacionadas com o aumento na produção florestal (Figura 3). O número de Caprinos possui uma variação interessante em relação a biomassa acima do solo (BAS). Quando as populações são relativamente pequenas o nível da biomassa acima do solo fica em torno de 40 Mg/ha, onde o aumento dessas populações chega a grupos intermediários de 20.000 animais por município, o nível de biomassa decai, porém onde há aumento para populações acima de 40.000 animais o nível de biomassa retorna ao estado inicial de 40 Mg/ha (Figura 3).

5 DISCUSSÃO

O diagnóstico da região do Cariri Paraibano mostrou alto índice de zonas de vegetação aberta, susceptíveis a desertificação, IDHM e PIB per capita baixos. O diagnóstico dos mecanismos gerais que governam as paisagens agrícolas dessa região abre portas para que ações sejam urgentemente tomadas, em busca do desenvolvimento de paisagens agrícolas sustentáveis. Implementação de práticas que visem o aumento de tecnificação dos produtores rurais, mecanização e restauração e educação ambiental para o uso consciente dos recursos naturais e do solo devem compor a elaboração de protocolos de políticas públicas para que a região busque um desenvolvimento rural sustentável.

De acordo com o Código Florestal Brasileiro as áreas de reserva legal têm a função de assegurar o uso econômico sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, contribuindo para a conservação e reabilitação dos processos ecológicos e fornecer abrigo e proteção para a fauna e flora nativas (Lei nº 12.651, 2012). Os dados cadastrados no CAR são de inteira responsabilidade dos proprietários das terras e, por este motivo, passíveis de erros. No entanto, mesmo que esses dados sejam submetidos a análises e posterior aprovação do poder público, não significa que representem inteiramente a realidade, pois essa avaliação não é criteriosa (TUPIASSU et al., 2017), como é caso de áreas avaliadas aqui. Os registros encontrados no CAR, no Cariri Paraibano, não levam em consideração a densidade da vegetação existente, nem se essa vegetação é de caráter nativo, sendo assim áreas de vegetação aberta ou arbustiva estão sendo consideradas APPs, vegetação nativa e Reserva legal. Essas áreas são suscetíveis a degradação do solo e estão relacionadas com manejo inadequado da terra e exploração de recursos naturais (SANTOS et al., 2020). Dessa forma, as informações disponibilizadas pelo CAR, geram uma falsa impressão de que essas áreas registradas como APP, Reserva legal e vegetação Nativa são preservadas, quando na realidade, o que acontece é que toda área que não é destinada a produção agrícola está classificada dessa forma, mas a grande maioria (cerca de 92%) é área degradada, o que cenário grave, uma vez que o CAR têm o objetivo de integrar as informações ambientais das propriedades rurais para utilização no combate ao desmatamento, monitoramento e planejamento ambiental. Toda essa cobertura degradada, resultado de uso histórico insustentável,

não é capaz de garantir os serviços ecossistêmicos essenciais para que se tenha desenvolvimento de paisagens agrícolas sustentáveis (ARAUJO et al., 2021).

O aumento da mecanização tem impacto positivo sob o IDHM e o PIB, porém o Nordeste é a única região que apresenta redução no número de máquinas agrícolas, além de mostrar os menores índices de inovações em relação a máquinas agrícolas em relação as outras regiões brasileiras (SILVA et al., 2020). Essa tendência pode levar a estagnação do setor agrícola na região. Essa mecanização é necessária para pequenos agricultores, com implementos agrícolas pequenos, pois pode suprir a atual dificuldade de mão de obra e otimizar a produtividade do pequeno agricultor. No entanto, essas tecnologias devem ser associadas à conservação anual de forragem para alimentação animal, boas práticas de produção de pastagem em regime de sequeiro, produção agrícola com eficiência no uso de água das chuvas, interação lavoura-pecuária, práticas de rotação de culturas e proteção do solo (BAUMHARDT; ANDERSON, 2006; PETERSON et al., 2006; STEWART, 2016; STEWART et al., 2006). A assistência técnica atualmente está relacionada, ao menos em parte, a melhoria no IDHM no Cariri Paraibano, deve-se melhorar a sua implementação para que a seu resultado também esteja associada positivamente a indicadores econômicos e ambientais.

Nossos resultados mostram que a maior perda de cobertura florestal desde 2000 ocorre frequentemente onde há mais propriedades que desenvolvem a agricultura familiar. Esse padrão pode estar associado à sequência de atividades econômicas nas pequenas propriedades que é iniciada pela exploração dos recursos vegetais como matriz energética, para dar lugar às atividades agrícolas de subsistência (LUCENA, 2019). Ainda, a retirada de madeira pela população local mantém cerca de um terço da energia utilizada na região da Caatinga, por meio da queima de madeira (MMA, 2011), o que também pode fazer parte da renda familiar na região. Porém, vimos que a produção florestal no Cariri Paraibano, além de impactar negativamente a biomassa acima do solo, está ocorrendo principalmente em locais onde essa biomassa já é comprometida. A continuação dessa prática tende a aumentar processos erosivos e tornar essas áreas altamente susceptíveis à desertificação (TOMASELLA et al., 2018). Portanto, o processo inverso, o de restauração florestal, deve ser urgentemente incentivado e implementado para reverter essa trajetória de degradação e recuperar serviços ecossistêmicos que a

própria agricultura depende, principalmente em ambiente semiárido, como a maior retenção de umidade no solo.

Por fim, observamos que o maior número de caprinos ou bovinos conseguem ser mantidos nos municípios que comportam a maior biomassa de vegetação nativa acima do solo. A perda de biomassa acima do solo em relação ao número de caprinos nas propriedades rurais, deve estar associada a agricultura familiar, que é mantida por pequenas propriedades e nesse sentido afetar esse indicador. Mesmo que os sistemas produtivos vigentes de um modelo extensivo ou ultra-extensivo na Caatinga não permita a obtenção de bons índices zootécnicos e rentabilidade adequada (VOLTOLINI et al., 2010), é evidente que a biomassa natural acima do solo está associada a capacidade de manutenção animal. Como a produção animal é uma importante atividade socioeconômica na Caatinga, vinculada principalmente à tradição de criação de ruminantes, é marcante a necessidade da recuperação ambiental e implementação de melhores práticas de criação animal. O sistema de integração lavoura-pecuária e a conservação de forragem é apontado como uma das principais estratégias para produção animal em regiões de terra seca no mundo (SCHIERE et al., 2006). Portanto, a mudança de mentalidade para um uso da terra em que sistemas que integrem lavoura, pecuária e floresta, ajudará no planejamento que busca o benefício da contribuição da natureza e das boas práticas humanas para o desenvolvimento de paisagens sustentáveis na Caatinga.

6 CONCLUSÃO

Sumarizando, nossos resultados mostram que o diagnóstico agropecuário e de uso da terra nos municípios do Cariri Paraibano permitem:

1) Demonstrar que as paisagens agrícolas da região possuem níveis elevados de degradação ambiental, aliadas a baixos índices sociais e econômicos. E nesse sentido o desenvolvimento sustentável na região é um processo que anda a passos lentos.

2) Evidenciar incongruências nos dados declarados pelo CAR, em relação a áreas de vegetação Nativa, Reserva legal e Áreas de Preservação Permanente, pois em seu banco de dados essas áreas ocupam 79,2% das propriedades registradas, contudo em dados encontrados por nós nesse trabalho, 92,34% das propriedades são cobertas por vegetação aberta ou arbustiva, ou seja, áreas degradadas.

3) Mostrar que as variáveis agropecuárias utilizadas explicam pouco as variações nos indicadores de sustentabilidade, embora estejam relacionadas.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; FARIAS, A. A. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1601-1614, 2015.

AQUINO, A. R.; ALMEIDA, J. R.; SENNA, M. L. G. S.; DUTRA, V. C.; MARTINS, T. P. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: uma visão acadêmica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rede Sirius, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/26452/22356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 8 jun. 2023.

ARAUJO, H. F. P.; MACHADO, C. C. C.; PAREYN, F. G. C.; NASCIMENTO, N. F. F.; ARAÚJO, L. D. A.; BORGES, L. A. A. P.; SANTOS, B. A.; BEIRIGO, R. M.; VASCONCELLOS, A.; DIAS, B. O.; ALVARADO, F.; SILVA, J. M. C. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land Use Policy**, v. 100, 2021.

BAUMHARDT, R. L.; ANDERSON, R. L. Crop choices and rotation principles. *In*: PETERSON, G. A.; UNGER, P. W.; PAYNE, W. A (org.). **Dryland agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2006, p. 113-139.

BEEL, S.; MORSE, S. **Sustainability indicators: measuring the immeasurable?** 2. ed. London: Earthscan, 2008.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p.116–127, 2015.

BLAND, L. M.; KEITH, D. A.; MILLER, R. M.; MURRAY, N. J.; RODRÍGUEZ, J. P. (eds.). **Guidelines for the application of IUCN Red List of Ecosystems Categories and Criteria**. Gland, Switzerland: IUCN, 2017.

BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.

BRUCE, P.; BRUCE, A. Practical Statistics for Data Scientists. **O' Reilly Media**, 2017. Disponível em: <http://www.sthda.com/english/articles/40-regression-analysis/162-nonlinear-regression-essentials-in-r-polynomial-and-spline-regression-models/#log-transformation>. Acesso em: 22 jan. 2021.

BUTCHART, S. H. M.; WALPOLE, M.; COLLEN, B.; STRIEN, A.; SCHARLEMANN, J. P. W.; ALMOND, R. E. A.; BAILLIE, J. E. M.; BOMHARD, B.; BROWN, C.; BRUNO, J.; CARPENTER, K. E.; CARR, G. M.; CHANSON, J.; CHENERY, A. M.; CSIRKE, J.;

DAVIDSON, N. C.; DENTENER, F.; FOSTER, M.; GALLI, A.; GALLOWAY, J. N.; GENOVESI, P.; GREGORY, R. D.; HOCKINGS, M.; KAPOS, V.; LAMARQUE, J. F.; LOVERINGTON, F.; LOH, J.; MCGEOCH, M. A.; MCRAE, L.; MINASYAN, A.; MORCILLO, M. H.; OLDFIELD, T. E. E.; PAULY, D.; QUADER, S.; REVENGA, C.; SAUER, J. R.; SKOLNIK, B.; SPEAR, D.; SMITH, D. S.; STUART, S. N.; SYMES, A.; TIERNEY, M.; TYRRELL, T. D.; VIÉ, J. C.; WATSON, R. Global biodiversity: indicators of recent declines. **Science**, v. 328, n. 5982, p. 1164-1168, 2010.

CAR – Cadastro Ambiental Rural. **Boletins Informativos: Cadastro Ambiental Rural**. 2019. Disponível em: <https://www.florestal.gov.br/publicacoes/897-boletins-informativos-cadastro-ambiental-rural-car>. Acesso em: 20 nov. 2020.

COSTA, S. R.; BUENO, M. G. **A saga do algodão**: das primeiras lavouras à ação na OMC. Rio de Janeiro: Insight Engenharia, 2004.

CUTLER, D. R.; THOMAS C. E.; KAREN H. B.; ADELE C.; KYLE T. H.; JACOB G.; E JOSHUA J. L. Random forests for classification in ecology. **Ecology**, v. 88 n. 11, p. 2783-2792, 2007.

FAO, 2002. **Second expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/Y4171E/y4171e00.htm>. Acesso em: 15 de jan. 2021.

FERRER-PARIS, J. R.; ZAGER, I.; KEITH, D.A.; OLIVEIRA-MIRANDA, M.A.; RODRÍGUEZ, J.P.; JOSSE, C.; GONZÁLEZ-GIL, M.; MILLER, R.M.; ZAMBRANA-TORRELIO, C.; BARROW, E. An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies. **Conservation Letters**, v. 12, 2019.

FLINT, R. W. Basics of sustainable development. In: FLINT, R. W. (org.). **Practice os sustainable Community development**. New York: Springer, 2013, p. 25-54.

FRISON, E. A.; CHERFAS, J.; HODGKIN, T. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. **Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 238-253, 2011.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators**: a sistematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the contexto of sustainable development. Washington: Worlds Resources Institute, 1995.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S. V.; GOETZ, S. J.; LOVELAND, T. R.; KOMMAREDDY, A.; EGOROV, A.; CHINI, L.; JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v. 342, p. 850-853, 2013.

HEINTZ, H. T. Applying the concept of sustainability to water resources management. **Water Resources Update**, v. 127, p. 6-10, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso em: 15 abr. 2021.

IIS - Instituto Internacional Para a Sustentabilidade. **Sustainable Landscapes: reconciling rural development and environmental conservation**. 2015. Disponível em: https://www.iis-rio.org/wp-content/uploads/2019/10/Final_Report.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

ÍTAVO, C. C. B. F.; VOLTOLINI, T. V.; ÍTAVO, L. C. V.; MORAIS, M. G.; FRANCO, G. L. Confinamento. *In*: VOLTOLINI, T. V. (org.). Produção de Caprinos e Ovinos no Semiárido. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2011, p. 553.

KRAMA, Márcia Regina. **Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta painel sustentabilidade**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

KUHN, M. **Caret**: Classification and Regression Training. 2021.

LUCENA, M. S. Gestão de Recursos Florestais na Caatinga: além de medidas formais de descentralização administrativa. **Gaia Scientia**, v. 13, p. 38-56, 2019.

MAIA S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MEADOWNS, D. **Indicators and information systems for sustainable development**: a report to the balaton group. Hartland: The Sustainability Institute, 1998.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Sustentabilidade para o desenvolvimento da Caatinga**. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/sustentabilidade-para-o-desenvolvimento-da-caatinga>. Acesso em: 17 ago. 2021.

ONU – Organização da Nações Unidas. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 15 jul. 2021.

PETERSON, G. A.; UNGER, P. W.; PAYNE, W. A.; ANDERSON, R. L.; BAUMHARDT, R. L. Dryland agriculture research issues. *In*: PETERSON, G. A.; UNGER, P. W.; PAYNE, W. A. (org.). **Dryland agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2006, p. 901-907.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20-28, 2012.

PNUD, 2013. **Índice de Desenvolvimento Humano municipal brasileiro**. PNUD, Ipea, FJP, Brasil.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences**, v. 363, p. 447-465, 2008.

REDWOOD, J. Clima, Sustentabilidade e desenvolvimento em Terras Secas. *In*: PIRES, T. C. (org.). **Parcerias Estratégicas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012, v. 17, n. 35, p. 167-178.

SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido Brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 402, 2010.

SANTANA, M. O. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA, 2007.

SANTOS J. M. Estratégias de convivência para a conservação dos recursos naturais e mitigação dos efeitos da desertificação no semiárido. *In*: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN A. M. P. (org.). **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2011, p. 163-184.

SANTOS, C. A. G.; NASCIMENTO, T. V. M.; SILVA, R. M. Analysis of forest cover changes and trends in the Brazilian semiarid region between 2000 and 2018. **Environmental Earth Sciences**, 2020.

SCHERR, S. J.; MCNELLY, J. A. Biodiversity conservation and agricultural Sustainability: towards a new paradigm of 'ecoagricultural' landscapes. **Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences**, v. 363, p. 477-494, 2008.

SCHIERE, H. J. B.; BAUMHARDT, R. L.; KEULEN, H. V.; WHITBREAD, A. M.; BRUINSMA, A. S.; GOODCHILD, T. A. V.; GREGORINI, P.; SLINGERLAND, M. M. A.; HARTWELL, B. Mixed crop-livestock systems in semiarid regions. *In*: PETERSON, G. A.; UNGER, P. W.; PAYNE, W. A (org.). **Dryland agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2006, p. 227-291.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Rápida. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SILVA, J. M. C.; WHEELER, E. Ecosystems as infrastructure. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15 p. 32-35, 2017.

SILVA, J. M.C.; BARBOSA, L. C. F.; PINTO, L. P. S.; CHENNAULT, C. M. Sustainable Development in the Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (org.). **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Springer Cham, 2017, p. 445–458.

SILVA, R. P.; BARICELO, L. G.; VIAN, C. E. F. Evolução, composição e distribuição regional de estoques de tratores e máquinas agrícolas no Brasil. *In: FILHO, J. E. R. V.; GASQUES, J. G. (org.). Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos de censo agropecuário.* Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020, p. 149-160.

SIQUEIRA-FILHO J. A. A extinção inexorável do rio São Francisco. *In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. Flora das caatingas do rio São Francisco: história natural e conservação.* Rio de Janeiro: Andrea Jajobsson Estúdio Editorail, 2012, p. 552.

SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 229-258, 2016.

STEWART, B. A.; Dryland farming. **Reference Module in Food Sciences**, 2016.

STEWART, B. A.; KOOHAFKAN, P.; RAMAMOORTHY, K. Dryland agriculture defined and its importance to the world. *In: PETERSON, G. A.; UNGER, P. W.; PAYNE, W. A. (org.). Dryland agriculture.* Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2006, p. 1-26.

TAVARES, V. C.; RAMOS, N. L. A desertificação em São João do Cariri (PB): uma análise de vulnerabilidades. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 5, p. 1384-1399, 2016.

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **Int J Appl Earth Obs Geoinf**, v. 73 p. 197-206, 2018.

TUPIASSU, L.; GROS-DESORMAUX, J.; CRUZ, G. A. C. Regularização Fundiária e Política Ambiental: Incongruências do Cadastro Ambiental Rural no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 7, n. 2, p. 187-202, 2017.

UZÉDA, M. C.; TAVARES, P. D.; ROCHA, F. I.; ALVES, R. C. **Paisagens agrícolas multifuncionais: intensificação ecológica e segurança alimentar.** Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VANDENDRIESCHE, D. A Compendium of NFS Regional Vegetation Classification Algorithms. **Forest Management Service Center**, 2013.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P.; SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.

VIEIRA, V. P. P. B. Sustentabilidade do Semi-árido Brasileiro: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 105-112, 2002.

VOLTOLINI, T. V. *et al.* Alternativas alimentares e sistemas de produção animal para o Semiárido brasileiro. *In*: SÁ, I. B.; SILVA, P.C.G. **Semiárido brasileiro**: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 2010, 199-242.

WAAS, T.; HUGÉ, J.; BLOCK, T.; WRIGHT, T.; BENITEZ-CAPISTROS, F.; VERBRUGGEN, A. Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development. **Sustainability**, v. 6, p. 5512-5534, 2014.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. **Our common future**. 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.