

PADRÕES REGIONAIS E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE): UMA ANÁLISE PARA OS MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA LEGAL

Dryelli Jales Costa¹

Fillipe Guedes¹

Admir Antônio Bertarelli Júnior²

Weslem Rodrigues Faria²

Resumo: O artigo busca identificar as múltiplas configurações que potencialmente levam às emissões de GEE por uso da terra e agropecuária na Amazônia Legal brasileira. A partir dos 772 municípios da região foram extraídos os fatores latentes que, com técnicas de análise fatorial exploratória, foram associados às emissões por uma Análise Comparativa Qualitativa *Fuzzy*. Dentre os principais resultados tem-se uma baixa produtividade agrícola e um alto manejo do solo, presente em todos os padrões de emissões verificados, com um grau de cobertura e consistência altos para todos os casos.

Palavras-chave: Amazônia Legal; Análise Fatorial; Análise Comparativa Qualitativa (QCA).

Área temática: 1. Economia

Financiamento: Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

¹ Doutorandos do Programa de Pós-graduação em Economia (PPGE/UFJF).

² Programa de Pós-graduação em Economia (PPGE/UFJF).

1. INTRODUÇÃO

A intensificação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) observada nas últimas décadas colaborou para a potencialização de processos antropogênicos que vem elevando a temperatura média da terra (ESQUIVEL-MUELBERT *et al.*, 2019; COX *et al.*, 2000; FEARNSIDE, 1997). A consequência desses processos é fonte de alerta constante dentro dos relatórios de avaliação produzidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), uma vez que os padrões climáticos mundiais podem passar por abruptas transformações levando a situações diversas. Em conjunto todas as mutações ameaçam a biodiversidade e resiliência dos ecossistemas naturais, com destaque para as regiões de florestas tropicais e com grande variedade de biomas, como é o caso do Brasil.

Entre 2010 e 2018, dos 10 municípios com maiores quantidades de GEE emitidas no país, 7 deles estão ligados a ação de desmatamento na Amazônia Legal³ (SEEG, 2020). A mudança do uso da terra ainda é o principal fator de emissões, correspondendo a 47% do total para o Brasil, sendo que o desmatamento na Amazônia Legal sozinho representou 40% desse percentual, alcançando um total de 998 milhões de toneladas de CO₂ emitidas só em 2020 (SEEG, 2021). Nesse mesmo ano o país aumentou em 9,5% suas emissões de GEE, mesmo com queda na atividade econômica e redução do PIB em 4,1% devido a pandemia da Covid-19. Somadas à questão dos desmatamentos, as queimadas também afetam muito a região. De acordo com dados do INPE (2022) entre 2018 e 2020 houve uma variação de 166,8% na quantidade de focos de queimadas observados na Região da Amazônia Legal, sendo que o ano de 2020 se destaca por apresentar o maior número dentre os últimos 10 anos.

Desse modo, o objetivo deste artigo é realizar um aprofundamento quanto a identificação dos elementos que se relacionam ao padrão de emissões municipal da região da Amazônia Legal brasileira, a partir de variáveis comumente classificadas como determinantes para as emissões pela literatura. Para seleção de variáveis relevantes, parte-se da metodologia IPAT, desenvolvida por Ehrlich e Holdren (1972), que expressa o impacto humano no ambiente onde (I) representa alguma medida de degradação ambiental como uma função de população (P), afluência (A) e tecnologia (T). Após a referida caracterização, objetiva-se a observação de relações conjuntas lógicas acerca de tais determinantes e as emissões em si, tanto a nível total quanto especificamente em relação às emissões por Mudança de Uso da Terra e Agropecuária. Em virtude da disponibilidade de dados do Censo Agropecuário, a análise que aqui se propõe usará o ano de 2017 como referência.

A fim de alcançar as metas desse estudo, utilizaremos duas abordagens. A primeira envolve a caracterização dos municípios brasileiros através da análise fatorial, o que permite a criação de indicadores sintéticos, também conhecidos como fatores. Desse modo, verificar-se-á se as variáveis estão juntas na formação das características e de que forma estas fundamentam uma tipologia de municípios. Na segunda abordagem, pretende-se aplicar uma análise comparativa qualitativa por conjunto difuso (*f*sQCA) para analisar se há possíveis combinações lógicas das dimensões e se estas expõem ligações suficientes com o padrão de emissões GEE. A estratégia se resume, então, em associar diretamente as características intrínsecas dos municípios, a partir da metodologia IPAT, com a degradação ambiental.

Desse modo, pretende-se ressaltar os desafios para direcionar grandes planos e investimentos de um país para uma trajetória de reduções de emissões e de resiliência quanto às mudanças climáticas no longo prazo. Assim, espera-se que a partir do presente estudo possase orientar as políticas específicas quanto à coordenação dos planos setoriais, uma vez que há necessidade de arranjo mais delineado entre diferentes ministérios na implementação de ações que devem ser sinérgicas e complementares.

Além desta introdução, a seção 2 deste artigo apresenta uma revisão teórica sobre a temática abordada, nossa terceira seção explicita a estratégia empírica, a seção 4 é sobre a base de dados utilizada, nossos resultados são apresentados na seção 5 e a seção 6 é sobre as considerações finais do trabalho.

³ São eles: São Félix do Xingu (PA), Altamira (PA), Porto Velho (RO), Pacajá (PA), Colniza (MT), Lábrea (AM) e Novo Repartimento (PA).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Amazônia Legal: Emissões de GEE e características econômicas e socioambientais

Com a maior região contínua de floresta tropical úmida no mundo, a Amazônia Legal Brasileira é uma das regiões com as maiores taxas de perda florestal no mundo (SKOLE AND TUCKER, 1993; FEARNside, 2005; NUMATA, COCHRANE & OLIVEIRA, 2017; VEDOVATO et al., 2016; MAY et al., 2019; TYUKAVINA et al., 2017;). As altas proporções de desmatamento estão intimamente ligadas ao processo de ocupação da área, intensificada em meados dos anos 1960 por políticas estatais de infraestrutura e incentivos fiscais, especialmente para atividades relacionadas com a pecuária extensiva e produção agrícola (MORAN, 1993; CARVALHO et al., 2001; KIRBY et al., 2006). A orientação da região amazônica a fim de atender a demanda das indústrias internacionais de carne bovina e soja fez com que ela se tornasse uma área propulsora do desmatamento. (LAURANCE, 2007; NEPSTAD et al., 2008; GOLLNOW E LAKES, 2014; TYUKAVINA et al., 2017).

Os interesses econômicos e comerciais direcionam a forte exploração dos recursos florestais na região Amazônica. Para Geist e Lambin (2001) o desmatamento é fruto direto da acessibilidade das áreas florestais, dos preços de *commodities* agrícolas e dos produtos de origem extrativista. Desse modo, Barbier (2000) mostra a forma como alterações nos preços de insumos e produtos podem levar a expansão da fronteira agrícola, com conversões de áreas de vegetação nativa em pastagens ou para uso agrícola. Faria, Betarelli e Montenegro (2019) destacam ainda que elevados retornos nas atividades pecuária, agrícola e extrativista tendem a elevar a procura por terras, aumentando ainda mais a pressão sobre os recursos e, conseqüentemente, sobre o nível de desmatamento.

Inspirados no modelo IPAT, muitos estudos concentram sua análise sobre a cobertura florestal na região, tentando compreender a dinâmica de ocupação populacional e a relação com as alterações no uso do solo na região da Amazônia Legal. (FERNside, 1997; WOOD & SKOLE, 1998; PFAFF, 1999; LAURENCE et al., 2002; PERZ et al., 2005; BARBIERI, 2007; GUEDES et al., 2011; GUTIERREZ-VELEZ; DEFRIES, 2013). Contudo, muitas vezes as relações entre a ocupação demográfica e alteração do uso do solo, especialmente via desmatamento, apresenta-se fraca, já que a região é marcada por influências de larga escala produtiva, que são as principais acentuadoras da problemática do desmatamento na área. (BARBIERI, 2007; VANWEY et al., 2007)

Considerando a heterogeneidade da região, a definição de padrões quanto as emissões de GEE torna-se relevante no sentido de uma averiguação mais detalhada sobre as configurações lógicas apresentadas na região, especialmente quanto ao uso do solo e a prática agropecuária. Nesse sentido, tenta-se identificar dentro da amplitude dos municípios e fronteiras florestais, agrícolas e geográficas, elementos em comum que possam estar norteando padrões específicos de emissões, permitindo assim uma compreensão mais clara da diversidade da região. Diferentemente dos trabalhos feitos similares a essa linha de abordagem, este estudo diferencia-se ao trazer contribuições relevantes sobre uso do solo e produção agropecuária em uma região tão complexa como a Amazônia Legal, considerando principalmente as particularidades de cada uma, especialmente quanto a geração de emissões de GEE a partir das práticas adotadas.

2.2 A identidade IPAT

Proposto pela primeira vez há quase cinco décadas (COMMONER, 1972; EHRLICH & HOLDREN, 1971; HOLDREN & EHRLICH, 1974), o modelo foi resultado dos esforços conjuntos para formalizar a relação entre população e bem-estar humano e impactos ambientais. A partir daí inicia-se a adoção de uma estrutura específica, desenvolvida pelos autores, dentro do alicerce das discussões temáticas envolvendo mudanças ambientais. Essa estrutura, conhecida como IPAT representa uma sigla composta pelas palavras “impacto”, “população”, “afluência” e “tecnologia” e

incorporar características chave das dimensões humanas da mudança ambiental, como no modelo:

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

Em que I é o impacto ambiental, P é a população e A é a riqueza ou atividade econômica por pessoa, também chamada de afluência. O T é o impacto ambiental por unidade de atividade econômica, que é determinado pela tecnologia utilizada para a produção de bens e serviços e pela organização social e cultural que determinam como a tecnologia é mobilizada. O modelo incorpora as principais forças antropogênicas com moderações, podendo ser considerado simples e com uma abordagem sistemática e ao mesmo tempo robusta, uma vez que pode ser utilizado para uma ampla variedade de impactos, incluindo os de emissões de GEE. (DIETZ & ROSA, 1994).

3. ESTRATÉGIA EMPÍRICA

A estratégia empírica delineada nesse estudo baseia-se em duas etapas a saber: a primeira composta por uma análise fatorial exploratória baseada em Hardle e Simar (2015) a fim de sintetizar os aspectos sociais, econômicos e ambientais, e caracterizar especificidades dos municípios da Amazônia Legal em variáveis latentes.

Desse modo, Dillon e Goldstein (1984) apresentam a forma matricial do modelo de análise fatorial, da seguinte forma:

$$X = \alpha F + \varepsilon$$

Em que X é o vetor transposto das variáveis observáveis p -dimensional, representado por $X = (x_1, x_2, \dots, x_p)$. O F é o vetor transposto de variáveis não observáveis q -dimensional (também chamado de fatores comuns) denotado por $F = (f_1, f_2, \dots, f_q)$, sendo $q < p$. O ε é representado por $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p)$ e trata do vetor p -dimensional transposto de variáveis aleatórias. Por fim, o α representa as cargas fatoriais que é uma matriz (p, q) de constantes desconhecidas⁴.

Os resultados da análise fatorial exploratória visam atender o objetivo de determinar as dimensões que explicam os padrões de emissões de GEE da Amazônia Legal. Os fatores são posteriormente empregados como condições causais para as emissões. Dessa forma, os fatores extraídos desempenham um papel importante na elaboração de indicadores que possam evidenciar tanto as diferentes realidades dos municípios da Amazônia Legal quanto as dimensões econômicas, sociais e ambientais da região. Assim, a análise produzirá dimensões que serão avaliadas em termos de associação com o indicador ambiental.

A segunda etapa da estratégia empírica a ser adotada é a Análise Comparativa Qualitativa (QCA). Essa abordagem é uma das variantes de métodos das teorias dos conjuntos em que múltiplas combinações de “condições” são analisadas para tratar sistematicamente as associações que produzem uma configuração específica (RAGIN E RIHOUX, 2004). Dessa forma, métodos como QCA tratam de objetos que podem ser entendidos a partir da teoria dos conjuntos – em que as observações têm natureza qualitativa e podem ser separadas em grupos com características distintivas – e analisam sua associação sistemática por meio de testes lógicos que seguem os princípios da álgebra booleana (RAGIN, 1987; 2000).

A Análise Comparativa e Qualitativa (QCA), tem por objetivo analisar e compreender o fenômeno sobre a causalidade, explorando os complexos padrões de ligações. Desse modo, a lógica da metodologia apoia-se na relação causal (dos conjuntos) para definir as condições necessárias e/ou suficientes para produzir o resultado especificado, que no presente trabalho seria o padrão de emissões por GEE. A QCA é particularmente adequada para as análises de configurações que dizem respeito

⁴ Para maiores informações sobre essa metodologia ver Johnson and Wichern (2014)

às questões ambientais e, por ser um método relativamente novo, não tem sido muito utilizado nas aplicações empíricas sobre emissões e nas áreas de pesquisa em economia (GANTER & HECKER, 2014).

O conceito de correlação usado na QCA não deve ser confundido com o mesmo conceito usado em métodos tradicionais de análise estatística. Assim, um determinado resultado pode ter diferentes caminhos teóricos (equifinalidade) gerados muitas vezes pela combinação de condições (multicausalidade) dadas a partir da QCA (RAGIN, 2000). As vastas combinações de conjuntos e as relações entre as mesmas são consideradas assimétricas, ou seja, tanto a presença quanto a ausência requerem análises separadas.

Nos modelos tradicionais de regressão há uma limitação na formulação funcional aditiva que denota as influências de certas variáveis independentes na variável dependente. Na análise de regressão o objetivo principal é prever um modelo causal único que melhor se ajuste aos dados em todos os casos ao mesmo tempo, ignorando padrões específicos e distintos (RAGIN, 2004). É nesse ponto que a QCA se destaca quanto a sua utilização nesse estudo, já que as combinações a partir de tal análise pode ser considerada caso a caso. Desse modo, as soluções em QCA permitem identificar padrões de associação entre conjuntos, contribuindo como etapa inicial para investigar a existência de relações causais (SCHNEIDER E WAGEMANN 2010).

Desse modo, o QCA poderá ser utilizado a fim de identificar a relação entre as dimensões latentes e as emissões no Brasil, sendo usada para compreender melhor padrões complexos de condições que conduzem a um fenômeno qualitativo. Assim, essa abordagem poderá trabalhar com a ideia de que se pode ter diversas combinações de fatores conceituais que, entre outras coisas, promovem o padrão de emissões GEE na região da Amazônia Legal brasileira.

4. BASE DE DADOS

As variáveis selecionadas para a análise fatorial são apresentadas na tabela 1, com informações correspondentes ao ano de 2017 para os 772 municípios da Amazônia Legal brasileira. A finalidade geral das técnicas de análise fatorial consiste na síntese da informação contida nas variáveis originais em um conjunto mais sucinto de fatores, com perda mínima de informação. Dessa forma, as variáveis adotadas tentam reproduzir inicialmente quatro conjuntos de características, a saber: impacto ambiental; população; atividade econômica; e tecnologia. Há também as variáveis que foram alocadas na coluna “outros”, haja vista a flexibilidade da identidade em questão em também levar em consideração outros fatores determinantes. A escolha das variáveis em questão, sendo assim, foi direcionada no sentido de capturar aspectos gerais relevantes a nível de emissões que possam ser enquadrados dentro da identidade IPAT e, adicionalmente, levar em consideração aspectos específicos em relação às fontes propulsoras de emissões na região da Amazônia Legal.

As informações utilizadas foram coletadas de quatro fontes: Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (AtlasBR), de 2013, que é produto da parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e a Fundação João Pinheiro (FJP); o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) com informações sobre o Censo Agropecuário de 2017; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de 2017; e Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) também de 2017.

A identidade “Impacto Ambiental” aborda as variáveis ligadas às emissões pelo uso do solo, agropecuária e totais. Essas variáveis representam o padrão de emissões de GEE observado nos municípios da Amazônia Legal Brasileira a partir de informações do SEEG para o ano de 2017.

Outro indicador é o de “População” que tem como variáveis a população pobre (POB), fecundidade total (FET), razão de dependência (RZD), analfabetismo de indivíduos acima de 18 anos (A18) e população rural (PRU). A partir dessas características demográficas espera-se que haja efeitos diversos sobre os municípios da Amazônia Legal, uma vez que elementos populacionais dessa área

são bem distintos, dado a particularidade de cada área.

A “Afluência”, que também pode ser designada como “Aspectos Econômicos” é composta pelas variáveis renda per capita (RDP) e transferência per capita do Programa Bolsa Família (BFA). Esses aspectos podem apresentar uma forte ligação com o padrão de emissões observado na região, podendo permitir assim uma caracterização mais abrangente dos municípios que serão analisados (FARIA E ALMEIDA, 2016; FARIA, BETARELLI E MONTENEGRO, 2019) tanto pelo acesso a renda quanto pela manifestação de vulnerabilidades socioeconômicas.

Por fim, o indicador “Tecnologia” inclui duas variáveis, a saber: Máquinas e equipamentos (MEQ) e domicílios com energia elétrica (LUZ). A presença desses aspectos considerados tecnológicos na região amazônica é um assunto que pode ser abordado de concepções diferenciadas. Um dos pontos principais nesse estudo envolve o alicerce tecnológico básico a fim de potencializar formas de produção, mesmo que primárias, na região. Outros indicadores foram inseridos na identidade a fim de complementar, de forma mais abrangente, a caracterização a ser realizada. Dessa forma, as variáveis concentração de focos de queimadas (FOC), cobertura vegetal natural (FLO), bovinos por área (BOV), agricultura familiar (AFA), área colhida (ACO) e área desmatada (DES) podem contribuir para uma definição mais clara dos padrões de emissões observados na região.

Os indicadores ambientais abrangem três principais tipos de emissões: totais, pelo uso da terra e pela produção agropecuária. Os dados foram retirados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)⁵ para os municípios brasileiros no ano de 2017. As dimensões de população são compostas pela densidade populacional, calculada a partir de dados estimados para 2017 do IBGE e a porcentagem total da população rural, que foi retirada do Censo Agro de 2017. Os indicadores de atividade econômica são representados pelo PIB *per capita* e área colhida com dados para 2017 do Censo Agropecuário.

⁵ É uma iniciativa do Observatório do Clima que compreende a produção de estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil.

Tabela 1 Variáveis selecionadas para os municípios brasileiros da Amazônia Legal – 2017. Fonte: AtlasBR (2013), INPE (2017), IBGE (2017) e SEEG (2017).

IPAT	Variáveis	Sigla	Média	Desvio padrão	Min	Max
IMPACTO (I)	Emissões totais	EMT	1156720	2224508	10086.21	28900000
	Emissões pelo Uso da terra	EUT	825976	1965089	2181	25900000
	Emissões pelo uso agropecuário	EUA	251161.6	349012.5	149.66	4179624
POPULAÇÃO (P)	Razão de dependência	RZD	60.91	11.73	35.81	118.04
	% População rural	PRU	42.56	19.51	0	95.82
	Fecundidade Total	FET	2.83	0.58	1.68	4.89
	Taxa de analfabetismo mais de 18 anos	A18	19.90	8.58	3.45	43.53
	% População pobre	POB	59.67	17.91	10.91	91.57
AFLUÊNCIA (A)	Transferências do Bolsa Família	BFA	196.91	115.60	20.44	690.83
	Renda per capita	RPC	363.17	176.09	96.25	1162.4
TECNOLOGIA (T)	Máquinas e equipamentos por área (unidades/km ²)	MEQ	50.420	128.24	0.13	1994.03
	% Domicílios com energia elétrica	LUZ	91.29	9.89	27.41	100
OUTROS	% área Colhida	ACO	6.23	13.47	0	129.23
	Bovino por área (cabeças por km ²)	BOV	38.48	40.99	0	223.97
	% Desmatamento	DES	36.37	34.13	0	100.0
	Agricultura Familiar	AFA	23.16	14.30	1.92	94.48
	% área com vegetação nativa	FLO	62.99	23.00	7.72	99.67
	Focos de queimadas por área	FOC	0.96	2.08	0	32.19

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. RESULTADOS

Foram explanados os resultados em quatro etapas analíticas e, em seguida, apresentou-se as características dos municípios da Amazônia Legal brasileira e como estes estão associados com o padrão de emissões de GEE na região. As fases adotadas para aplicação da análise fatorial basearam-se em Johnson e Wichern (2014), com a apresentação inicial da matriz de correlação, seguido pela extração dos fatores principais e cálculo dos escores fatoriais. A estimação dos fatores iniciais foi feita utilizando o Método dos Fatores Principais (MFP), que apresentou a menor matriz de erros em detrimento aos demais métodos⁶.

Considerando que a eficiência do Modelo de Fatores Principais (MFP) depende dos coeficientes da matriz de correlação, tem-se que altas correlações entre certas variáveis devem reproduzir cargas fatoriais e semelhanças altas em certos fatores latentes. Caso isso não ocorra, as variáveis não serão bem explicadas por esses respectivos fatores. A matriz de correlação é apresentada na Tabela 2. Desse modo, de acordo com as referências de Hair *et al.* (1998), nota-se que 62,4% dos coeficientes da matriz de correlação apresentam valores maiores que 0,30 e estatisticamente significativos a 0,05. Esse resultado é um indicativo de que a estrutura de dados é adequada para a realização da análise fatorial.

Além da análise prévia das distribuições amostrais e das matrizes de coeficientes de correlação, a averiguação da adequabilidade das variáveis se faz necessária para que haja uma aplicação satisfatória da análise fatorial (AZEVEDO, 2006; JOHNSON; WICHERN, 2014). Partindo de uma abordagem do MFP, os resultados para a análise fatorial foram apresentados na Tabela 3.

Os testes estatísticos demonstraram-se condizentes com a literatura de referência. Primeiramente, o teste de Esfericidade de Bartlett indicou que matriz de correlação das variáveis é diferente de uma matriz identidade. Já o valor do critério Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) apresentou o valor de ajuste adequado ao modelo, equivalente a 0,82.

A rotação ortogonal Varimax foi aplicada com o intuito de facilitar a interpretação das cargas fatoriais, uniformizando as variáveis com elevado peso em um único fator. Contudo, optou-se pela manutenção dos fatores originais uma vez que eles caracterizaram uma melhor associação dos fatores.

⁶ Tanto o Método Interativo dos Fatores Principais quanto o Método de Máximo verossimilhança apresentaram matrizes de erros inferiores, quando comparado ao Método dos Fatores Principais.

Tabela 2 - Matriz de correlação das variáveis

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RZD	1														
FET	0.81*	1													
A18	0.59*	0.43*	1												
PPB	0.81*	0.64*	0.72*	1											
PRU	0.40*	0.33*	0.40*	0.57*	1										
RPC	-0.42*	-0.27*	-0.41*	-0.56*	-0.25*	1									
ACO	-0.35*	-0.24*	-0.30*	-0.46*	-0.22*	0.60*	1								
RBF	0.71*	0.59*	0.60*	0.77*	0.38*	-0.40*	-0.30*	1							
MEQ	-0.35*	-0.20*	-0.32*	-0.49*	-0.21*	0.66*	0.70*	-0.31*	1						
LUZ	-0.61*	-0.49*	-0.30*	-0.47*	-0.41*	0.18*	0.18*	-0.36*	0.15*	1					
DES	-0.18*	-0.21*	0.21*	0.04	0.10*	-0.14*	-0.07	-0.02	-0.17*	0.39*	1				
AFA	-0.44*	-0.30*	-0.36*	-0.56*	-0.36*	0.51*	0.42*	-0.42*	0.58*	0.20*	-0.21*	1			
FLO	0.44*	0.42*	0.10*	0.29*	0.06	-0.12*	-0.19*	0.30*	-0.08*	-0.49*	-0.71*	-0.09*	1		
FOC	-0.09*	-0.03	-0.09*	-0.09*	-0.01	0.04	-0.04	-0.13*	0.00	-0.15*	-0.13*	0.09*	0.20*	1	
BOV	-0.42*	-0.41*	-0.09*	-0.33*	-0.05	0.01	-0.09*	-0.38*	-0.10*	0.36*	0.56*	0.03	-0.72*	-0.11*	1

Legenda: * $p < 0.05$.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os critérios de Kaiser (1958) e Pearson levam à seleção dos números de fatores mais apropriado, já que os autovalores devem ser maiores que um e a proporção da variância explicada deve ser maior do que 70%. Quanto à comunalidade, verificou-se que todas as variáveis apresentaram valores superiores a 0,5, sendo um indicativo que os quatro fatores descrevem bem as interdependências das variáveis. Já o teste de escala de Cronbach's apresentou uma consistência da análise de 86%.

Tabela 3 - Resultados da Análise Fatorial. Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos resultados da pesquisa.

Acrônimo	Descrição	Fatores				Comunalidades
		1	2	3	4	
RZD	Razão de dependência	0.88				0.85
FET	Fecundidade Total	0.73				0.67
A18	Taxa de analfabetismo mais de 18 anos	0.70				0.62
PPO	% População Pobre	0.93				0.89
AFA	Agricultura Familiar	-0.60				0.54
RPC	Renda per capita	-0.64				0.70
BFA	Transferências do Bolsa Família	0.78				0.73
LUZ	% Domicílios com energia elétrica	-0.56				0.67
ACO	% Área colhida	-0.57		0.55		0.74
MEQ	Máquinas e equipamentos por área (unidades/km ²)	-0.60		0.53		0.82
PRU	% População Rural	0.55			0.53	0.66
FOC	Focos de queimadas por área				0.67	0.71
DES	% Desmatamento		-0.83			0.78
FLO	% área com vegetação nativa		0.76			0.85
BOV	Bovino por área (cabeças por km ²)		-0.77			0.74
Autovalores		5.59	2.88	1.50	1.01	
Proporção da variância		0.37	0.19	0.10	0.07	

Teste de Escala Cronbach's: 0.86 Kaiser - Meyer- Olkin (KMO):0.82

Teste de Esfericidade de Bartlett's: 10578.53 (p valor =0.00)Os valores ocultados estão abaixo de 0.5

Segundo Mingoti (2007) a disposição dos fatores é fundamental para a análise fatorial, levando-se em conta a variância e sua proporção. Tendo isso em mente, o primeiro fator representando por “aspectos demográficos e de vulnerabilidade socioeconômica”, tem maior competência para representar o conjunto de indicadores aqui analisados no que tange a caracterização dos municípios da Amazônia Legal (Tabela 3). Em relação às cargas fatoriais do fator 1, verifica-se que as variáveis “população rural”, “recebimento de renda proveniente do Bolsa Família”, “razão de dependência”, “fecundidade total”, “população pobre”, “agricultura familiar” e “taxa de analfabetismo” apresentam forte correlação com este fator. Quando se verifica o risco ambiental desencadeado a partir da intensificação das emissões, especificamente em municípios pertencentes à Amazônia Legal brasileira, os padrões de desigualdade social colaboram para configurar estruturas ambientais, tanto rurais quanto urbanas. Desse modo, populações menos favorecidas, tanto por características de renda, quanto escolaridade e de acesso a saúde tendem a ocupar áreas de maior vulnerabilidade social que acabam se sobrepondo à própria vulnerabilidade ambiental (FREITAS et al, 2001; ALVES, 2006).

Os impactos desproporcionais desencadeados a partir de práticas inadequadas como a mudança no uso do solo, atividade agropecuária e, conseqüentemente elevação das emissões de

GEE, especialmente em áreas de vulnerabilidade social ajudam a apontar para populações com baixo acesso a informações e recursos financeiros, que são afetadas diretamente a partir da ausência de condições básicas, tanto econômicas quanto sociais (CUTTER E FINCH, 2008; WISNER et al., 2011). Porto (2007) ressaltou ainda que as vulnerabilidades sociais levam a diferenças no grau de exposição e de efeito entre os grupos que vivem na periferia social e econômica no processo de desenvolvimento. Desse modo, os grupos sociais mais vulneráveis acabam por arcar com a maior parte da poluição nos ambientes que trabalham e vivem.

O segundo fator, denominado de biodiversidade, apresenta a variável “vegetação nativa” correlacionado negativamente com a variável “área desmatada” e “bovinos por área”. Rivero et al (2009) também identificou que a pecuária bovina está fortemente associada com o desmatamento na maior parte da região Amazônica. Uma das causas fundamentais para a manutenção desse processo se dá pelos baixos níveis de capital para iniciar a atividade de pecuária bovina e também pela pouca necessidade de preparo do solo, com mínimas restrições quanto ao relevo e áreas recentemente desmatadas.

No caso do fator três, a produtividade agrícola se relaciona com as variáveis “área colhida” e “máquinas e equipamentos”. Segundo Matos e Pessôa (2011), o processo de modernização agrícola no Brasil surgiu como uma tentativa de elevar a produtividade para atendimento do mercado externo, tendo como principal financiador o próprio estado. Esse processo se deu principalmente com a liberação de crédito para o setor, influenciando no investimento de bens de capital, como maquinário agrícola. A diminuição do fator trabalho a partir da adoção de tecnologias específicas fez com que se intensificasse a busca pelo aumento das áreas agricultáveis, expandindo assim a fronteira agrícola brasileira e consequentemente o desmatamento de áreas com vegetação nativa (RIVERO et al, 2009; NEVES et al, 2014).

As variáveis “população rural” e “focos de queimadas” apresentaram-se positivamente correlacionados, fazendo com que a denominação adotada para o quarto fator fosse “manejo do solo”. Apesar do bioma de floresta Amazônica apresentar alta sensibilidade ao fogo, práticas de manejo relacionadas às queimadas ainda são muito utilizadas na região (HARDESTY et al., 2005; BISPO & PIMENTEL, 2018; SILVA, PONTES, AMORIM, 2020). A presença de sazonalidade e sinergismo entre o clima, desmatamento e os incêndios é destacado por Aragão et al. (2008) e Cochrane e Laurance (2008). Esses trabalhos identificaram frequência mais elevada dos focos de queimadas em estações mais secas, especialmente entre junho e agosto, sendo muitas vezes potencializada por ações antrópicas como desmatamento de florestas e incêndios provocados. Pode-se destacar também a presença de uma distribuição espacial das queimadas, mais precisamente no “arco do desmatamento”⁷ devido a atividades de extração madeireira, pecuária, agroindústria e áreas próximas a estradas (FERREIRA, VENTICINQUE E ALMEIDA, 2005)

A partir da definição dos fatores, a averiguação de possíveis condições de suficiência torna-se necessário, uma vez que as relações se apresentam como causais e devem retratar a concordância empírica dos quatro fatores encontrados e das emissões resultantes desses processos.

Para investigar as relações de suficiência com o padrão de emissões por uso do solo, aplicou-se o QCA a fim de transformar as cinco variáveis em conjuntos *fuzzy* e obter os respectivos graus de adesão dos municípios da Amazônia Legal. Neste estudo, cada conjunto foi representado por uma letra, maiúscula e minúscula, representando a alta e a baixa probabilidade condicional, respectivamente. Desse modo, o (U) refere-se às emissões por uso da terra; (A) emissões pela atividade agropecuária; (E) emissões totais; (V) vulnerabilidade socioeconômico; (B) Biodiversidade; (A) Produtividade agrícola; (T) Manejo do Solo. As quatro últimas dimensões foram obtidas a partir da análise fatorial, descrita anteriormente.

Com objetivo de analisar as soluções comuns e reduzi-las a uma estrutura lógica condizente com o contexto empírico, como proposto por Longest e Vaizey (2008), chegou-se às configurações

⁷ O termo faz alusão à região onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia. É um território que vai do oeste do Maranhão e sul do Pará em direção a oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre. As rodovias Belém-Brasília e Cuiabá-Porto Velho iniciaram o desenho desse arco, e atualmente corresponde ao território de 256 municípios que concentram aproximadamente 75% do desmatamento da Amazônia. (ISA, 2019).

das interações entre os determinantes que provocariam as emissões tanto por uso da terra e pela agropecuária quanto pelas emissões totais. Desse modo, aplicando o algoritmo de minimização Quine-MCCLUSKEY, temos as combinações necessárias, mas não suficientes por si só para influenciar o padrão de emissões de GEE. Desse modo, considerando a Tabela 4, foi obtida a seguinte relação de suficiência após o processo de minimização:

$$aT + BT \rightarrow U \quad (2)$$

$$va + VT + aT \rightarrow A \quad (3)$$

$$vBT + aT \rightarrow E \quad (4)$$

As configurações lógicas “aT” e “BT” apresentaram consistência de 86%, para altas emissões pelo uso da terra na Amazônia Legal. Assim, municípios com baixa produtividade agrícola e alto manejo do solo, bem como alta biodiversidade e alto manejo do solo apresentam alta emissão de GEE pelo uso da terra. Como a consistência apresentou valores acima de 0,80, tem-se que essas configurações têm relação suficiente com as emissões. A cobertura total assume o valor de 64%.

Já a consistência para as configurações lógicas de emissões pela agropecuária “va”, “VT”, “aT” foram de 86%, 93% e 91%, respectivamente, com uma cobertura total de 81%. Uma baixa vulnerabilidade ligada a uma baixa produtividade agrícola, uma alta vulnerabilidade atrelada a um alto manejo do solo e uma baixa produtividade com alto manejo do solo apresentam altos valores de emissões pelo uso na agropecuária.

Por fim, a configuração “vBT” e “aT” apresentaram consistência de 91% e 88%, respectivamente, e uma cobertura total de 60% para as emissões totais de GEE. Logo, as emissões totais são representadas por baixa vulnerabilidade, alta biodiversidade e alto manejo do solo, assim como uma baixa produtividade agrícola e alto manejo do solo.

Tabela 4 – Configuração lógica reduzida com alto padrão de emissões

Tipo de emissão	Combinações Lógicas	Cobertura		Consistência
		Bruta	Única	
Uso do solo	aT	0.53	0.09	0.86
	BT	0.55	0.11	0.86
	Total de cobertura = 0.64		Solução da consistência = 0.83	
Agropecuária	va	0.60	0.14	0.86
	vT	0.58	0.13	0.93
	aT	0.54	0.09	0.91
	Total de cobertura = 0.81		Solução da consistência = 0.85	
Total	vBT	0.40	0.07	0.91
	aT	0.54	0.20	0.88
	Total de cobertura = 0.60		Solução da consistência = 0.88	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que para todos os tipos de emissões a combinação lógica “aT” está presente, apresentando uma elevada consistência em todos os casos. Isso reforça o padrão identificado por Geist (2001) e Lambin (2002) para as causas do desmatamento, associados fundamentalmente ao uso do solo que afeta diretamente o meio ambiente e a cobertura vegetal presente. O manejo inadequado do solo acaba por gerar processos de degradação, podendo intensificar a emissão de GEE. A magnitude e tipo dessas emissões dependem do tipo de uso, sistema de cultivo e manejo do solo (CONCEIÇÃO et al., 2017).

Possíveis caminhos para a condução dessa problemática envolvem sistemas de manejo mais sustentáveis, com a possibilidade de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), em detrimento

aos sistemas agrícolas existentes, com grande potencial de promover melhorias na qualidade do solo, tanto em curto quanto em médio prazo (LOVATO et al., 2004; BAYER et al., 2006; SACRAMENTO et al., 2013; BATLLE-BAYER et al., 2010; GAZOLLA et al., 2015). Essa mudança de percepção quanto à condução das práticas exige que o modelo extensivo de produção seja revisto, uma vez que a integração ILPF necessita de uma sustentabilidade maior no processo produtivo.

A configuração “BT” para emissões do uso da terra demonstra como a alta biodiversidade, juntamente com o alto manejo do solo, pode fornecer condições elementares para transições relevantes quanto ao uso do solo, especificamente áreas com vegetação nativa ainda inutilizadas pelo homem. As duas principais formas de manejo do solo a partir de áreas com alta biodiversidade são as queimadas e o desmatamento. Apesar de apresentar uma legislação nacional sobre biodiversidade⁹, considerando os seis biomas principais no Brasil, existem contrapontos relevantes que nos levam a compreender a amplitude da configuração revelada. O afrouxamento nas fiscalizações de áreas protegidas ou com vegetações nativas levam a uma intensificação da busca desses espaços para atender a novos propósitos quanto ao uso da terra, levando muitas vezes a transições que acabam elevando as emissões a partir de cada tipo cobertura (ou ausência dela).

O manejo do solo em áreas de floresta nativa relaciona-se intimamente com as queimadas, que são responsáveis por emissões significativas de partículas para a atmosfera (ARTAXO et al., 2005). Desse modo, elas acabam produzindo modificações no conjunto de compostos orgânicos e GEE, o que por sua vez gera importantes implicações sobre o ciclo hidrológico e sobre o clima em nível local, regional e global (ANDREAE & CRUTZEN, 1997).

Romeiro (1999) destacou o predomínio da pecuária extensiva na Amazônia e enfatizou a forma como a expansão dessa atividade chegou até os pequenos produtores familiares, que apresentam uma alta vulnerabilidade social e econômica na região. Esse trabalho destacou ainda que a implantação de pastagens é uma alternativa utilizada pelos pequenos produtores para obter ganhos patrimoniais a partir da venda da terra, muitas vezes adquirida por fazendeiros pecuaristas da região que, geralmente, têm suas atividades principais nas zonas urbanas (comerciantes, profissionais liberais etc) e usam a terra basicamente como um ativo de especulação. Isso ajuda a compreender as combinações lógicas presentes nas emissões pela agropecuária e totais, “va”, “vT”, “vBT”. Essas características envolvem fundamentalmente o alicerce produtivo no Brasil, com grandes extensões de terra, muitas vezes improdutivas e comelevada transição de uso do solo, especialmente de áreas com elevada biodiversidade e com vegetação nativa.

Portanto, a diminuição na cobertura vegetal é um resultado direto da ampliação das atividades econômicas na região da Amazônia Legal brasileira. Nesse processo a intensificação de práticas de manejo inadequado do solo, do desmatamento, da agricultura, da atividade de extrativismo vegetal, da mineração e da abertura de áreas para pastagem dos grandes empreendimentos estão ligadas com mudanças substanciais nos fluxos e ciclos biogeoquímicos atmosféricos (PICHLER & GINGRICH, 2021). A partir daí tem-se uma ligação de existência de relações com as alterações nos fluxos do carbono e nitrogênio (ANDREAE & CRUTZEN, 1997) da fertilidade do solo, perda da biodiversidade, degradação do solo, aumento da desertificação (NEILL, 2001), além das mudanças no ciclo hidrológico e nas relações entre a evapotranspiração e a precipitação na Amazônia (NÓBREGA et al., 2008; MARENCO, 2006).

Em relação ao potencial de emissão de GEE, as emissões tanto pela agropecuária quanto pelas emissões por uso da terra podem aumentar à medida que as práticas conservacionistas⁸ do solo deixam de ser adotadas (CERRI et al., 2007; ROBERTSON et al., 2000). Essas práticas consistem em uma busca à preservação dos recursos naturais através de um manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade. Considerando que a rentabilidade das *commodities* é mais elevada em períodos de valorização do dólar, chama-se a atenção para a possibilidade de aumento ainda maior do desmatamento e queimadas em áreas de vegetação nativa, a fim de expandir as áreas extensivas de

⁸ As práticas conservacionistas são bem amplas e vão desde o uso do solo de acordo com a capacidade de uso e manejo integrado de pragas até o uso racional de agroquímicos, entre outros. (Ver Hassan et al (2022); Shakoob et al (2022); Besen et al (2018)).

produção. Esses elementos podem piorar ainda mais a forma como a utilização e manejo do solo é feito, aumentando, por conseguinte as emissões tanto pelo uso da terra quanto pela prática agropecuária.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de diferentes técnicas de análise multivariada foi possível perceber alguns padrões observados no perfil das emissões de GEE para os municípios da Amazônia Legal brasileira para o ano de 2017. As técnicas utilizadas se mostraram úteis na caracterização e interpretação dos resultados, embora existam alguns aspectos que necessitam de uma investigação mais cuidadosa e detalhada. O artigo tem como contribuição sua análise multidimensional relacionada aos aspectos ligados às características dos municípios da Amazônia Legal. Baseando-se na identidade IPAT, utilizou-se as emissões por uso da terra e pelo uso da agropecuária.

A pesquisa proporciona um avanço em relação aos estudos aplicados ao propor uma análise que levou em consideração variáveis econômicas, ambientais, demográficas e de tecnologia (IPAT) empregando técnicas de análise que podem identificar o padrão dos municípios que mais se associaram às emissões, levando-se em conta o uso da terra e as atividades agropecuárias.

Isso posto, a estratégia de análise desta pesquisa procedeu pela articulação sucessiva de duas técnicas, quais sejam: análise fatorial exploratória (AF) e análise comparativa qualitativa (QCA). Mais precisamente, a técnica de análise fatorial exploratória identificou quatro fatores latentes da matriz de vetores aleatórios: (i) aspectos demográficos e de vulnerabilidade socioeconômica, (ii) biodiversidade, (iii) produtividade agrícola e (iv) manejo do solo. Os fatores extraídos desempenharam um papel importante na elaboração de indicadores ambientais que permitiram identificar as diferentes realidades dos municípios da Amazônia Legal brasileira quanto as dimensões sociais, econômicas e ambientais, principalmente quanto aos padrões de emissões de GEE.

Os resultados do QCA apresentaram duas combinações de condições que levariam ao alto padrão de emissões por uso do solo. Em outras palavras, alta biodiversidade (B) combinada com alto manejo do solo (T) ou baixos níveis de produtividade agrícola (a) e alto manejo do solo (T) seriam combinações lógicas que levam ao alto nível de emissões de GEE por uso do solo nos municípios da Amazônia Legal brasileira. Já as combinações para emissões pela agropecuária são compostas por baixo nível de vulnerabilidade socioeconômica (v) com baixa produtividade agrícola (a) ou baixa produtividade agrícola (a) e alto manejo do solo (T).

Assim, vê-se que as elevadas taxas de emissões por uso do solo estão associadas a alta biodiversidade e alto manejo do solo. O primeiro caso sugere que as regiões com áreas de vegetação natural estão mais susceptíveis a interferências humanas, no sentido de criar áreas de influência para atividades econômicas e de exploração, muitas vezes apoiado no processo de desmatamento e/ou queimadas. Uma possível solução para o avanço dessa problemática na região fica atrelado a eficiência dos órgãos públicos em fiscalizar áreas preservadas e ter um controle mais assíduo sobre o processo de ocupação da região, especialmente sobre interessados em “grilar” terras. Esses pontos sugeridos vão além do escopo desse trabalho, uma vez que a efetividade dos serviços públicos no Brasil seja questionável, especialmente quando se trata do interesse de particulares.

O segundo caso, envolvendo alto manejo do solo retrata uma realidade muito utilizada com vistas a produção agrícola na região, que são as queimadas. Essa prática, em curto prazo, elevada a produtividade de áreas de produção agrícola e de pastagens, contudo em médio prazo a técnica é altamente condenável uma vez que o empobrecimento do solo por meio do fogo pode ocorrer degradando a matéria orgânica e os nutrientes presentes, impedindo a sua recomposição. Esse processo pode explicar a baixa produtividade agrícola decorrente de plantio em áreas onde o manejo do solo ainda se dá por meio de queimadas. Uma possível solução para tal problema está concentrado na difusão de técnicas que preservem a boa produtividade e a fertilidade do solo ao longo do tempo, especialmente ligados a práticas mais conservacionistas na qual se busca a preservação dos recursos naturais através de um manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade.

O segundo principal ponto identificado tange as altas taxas de emissão por atividades agropecuárias, que estão associadas a baixa produtividade agrícola e alto manejo do solo, baixa vulnerabilidade social combinado a baixa produtividade agrícola e por fim, baixa vulnerabilidade combinado ao alto manejo do solo. A baixa vulnerabilidade social é atrelada a própria característica de distribuição de renda concentrada na região, onde grandes espaços de terra ficam restritos a poucas pessoas. Já o alto manejo e baixa produtividade, como discutido anteriormente, são elementos presentes em áreas de alta taxa de emissões tanto pelo uso da terra quanto pela atividade agropecuária.

A forte expansão da pecuária bovina na Amazônia é uma tendência que deve continuar considerando os aspectos macroeconômicos e políticos atuais. Caso o atual quadro de demandaglobal continue em expansão e a presença das instituições na fronteira amazônica continue frágil, a tendência é de que a expansão da pecuária na fronteira agrícola continue. Atreladas a isso, as novas demandas e a rentabilidade maior das *commodities* vão reforçar esses processos de expansão de desmatamentos e queimadas na região amazônica.

A difusão de práticas de manejo e uso do solo adequadas fazem-se necessárias como a possibilidade de adoção de áreas integradas de lavoura-pecuária-floresta (iLPF), que podem repercutir de forma positiva no uso da terra e na diminuição de emissões de GEE. Contudo, a integração das florestas junto ao elemento produtivo pode ainda ser um problema em muitas áreas, pois a produtividade a curto prazo ainda prevalece dentro das metas imediatas das atividades na região. Uma fiscalização mais ativa, especialmente sobre áreas de florestas, faz-se necessária assim como políticas que vão além da Moratória da Soja e da Carne, de forma a estimular uma produção mais equilibrada, com uma consciência de efetividade de longo prazo mais clara e bem definida.

Por fim, ressalta-se a necessidade de uma agricultura mais conservacionista que, feita de forma adequada, pode ser ambientalmente aceitável e pode garantir o uso do solo e a disponibilidade de outros recursos a longo prazo, ao mesmo tempo que permitirá uma diminuição das emissões de GEE. Destaca-se ainda a necessidade de práticas como o plantio direto, que apesar de ter seus percalços, é a forma de manejo do solo que mais se assemelha as condições naturais, por isso deve ser aperfeiçoado e contar com investimentos ativos em pesquisa e desenvolvimento a fim difundir tal prática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcamo, J., A. Bouwman, J. Edmonds, A. Grabler, T. Morita, and A. Sugandhy, 1995: An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. In: *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 233-304.
- Alves, H. P. D. F. (2006). Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 23, 43-59.
- Andreae, M. O., & Crutzen, P. J. (1997). Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 276(5315), 1052-1058.
- Aragao, L. E. O., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., & Saatchi, S. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1498), 1779-1785.
- Artaxo, P., Gatti, L.V., Leal, A.M.C., Longo, K.M., Freitas, S.R.D., Lara, L.L., Pauliquevis, T.M., Procópio, A.S. and Rizzo, L.V., 2005. Atmospheric chemistry in Amazonia: the forest and the biomass burning emissions controlling the composition of the Amazonian atmosphere. *Acta Amazonica*, 35(2), pp.185-196.
- Azevedo, J. P. (2006). FACTORTEST: Stata module to perform tests for appropriateness of factor analysis (Rev. ed.) (Statistical Software Components, N_ S436001). Boston, MA: Boston College

<https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s436001.html>

Barbier, E. B. (2000). Valuing the environment as input: review of applications to mangrove- fishery linkages. *Ecological economics*, 35(1), 47-61.

Barbieri, A. F. (2007). Mobilidade populacional, meio ambiente e uso da terra em áreas de fronteira: uma abordagem multiescalar. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 24(2), 225-246.

Batlle-Bayer, L.; Batjes, N. H.; Bindraban, P. S. 2010. "Changes in organic carbon stocks uponland use conversion in the Brazilian Cerrado: A review". *Agriculture, Ecosystems and Environment* 37: 47-58.

Bayer, C. et al. 2006. "Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till." *SoilTillage Research* 86: 237-245.

Bispo, L. G., & Pimentel, G. A. (2018). Agricultura na amazônia legal e sua relação com o desmatamento: Uma análise a partir dos censos demográficos e agropecuários de 1996 e2006. *Revista de Administração de Roraima-RARR*, 7(2), 244-267.

Carvalho, G., Cristina Barros, A., Moutinho, P., & Nepstad, D. (2001). Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature*, 409(6817), 131-131.

Cerri, C. E. P., Sparovek, G., Bernoux, M., Easterling, W. E., Melillo, J. M., & Cerri, C. C. (2007). Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, 64(1), 83-99.

Chertow, M. R. (2000). The IPAT equation and its variants. *Journal of industrial ecology*, 4(4),13-29.

Cochrane, M. A., & Laurance, W. F. (2008). Synergisms among fire, land use, and climate change in the Amazon. *Ambio*, 522-527.

Commoner, B. (1972). The Environmental. *Population, resources, and the environment*, 3, 339.

Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., & Totterdell, I. J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(6809),184-187.

Cutter, S. L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the national academy of sciences*, 105(7), 2301-2306.

Conceição, M. C., Matos, E. D. S., Bidone, E. D., Rodrigues, R. D. A. R., & Cordeiro, R. C. (2017). Changes in soil carbon stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest system in the Brazilian Amazon Region. *Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.

DeFries, R., Herold, M., Verchot, L., Macedo, M. N., & Shimabukuro, Y. (2013). Export-oriented deforestation in Mato Grosso: harbinger or exception for other tropical forests?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1619), 20120173.

De Vries, B., M. Janssen, and A. Beusen, 1999: Perspectives on global energy futures - simulations with the TIME model. *Energy Policy* 27, 477-494.

Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluenceand technology. *Human ecology review*, 1(2), 277-300.

Dillon, W. R., & Goldstein, M. (1984). *Multivariate analysismethods and applications* (No. 519.535 D5).

Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth: Complacency concerning this component of man's predicament is unjustified and counterproductive. *Science*, 171(3977), 1212-1217.

Esquivel-Muelbert, A., Baker, T.R., Dexter, K.G., Lewis, S.L., Brienen, R.J., Feldpausch, T.R.,Lloyd, J., Monteagudo-Mendoza, A., Arroyo, L., Álvarez-Dávila, E. and Higuchi, N., 2019. Compositional response of Amazon forests to climate change. *Global Change Biology*, 25(1), pp.39-56.

Faria, W. R., Betarelli, A. A. Jr., & Montenegro, R. L. G. (2019). Multidimensional characteristics and deforestation: an analysis for the Brazilian Legal Amazon. *Quality &Quantity*, 53(4), 1959-1979.

Faria, W. R., & Almeida, A. N. (2016). Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, 121, 85-97. *Megadiversidade*, 1(1), 113-123.

Fearnside, P.M., 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, 35(3), pp.321-360.

- Fearnside, P.M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation biology*, 19(3), pp.680-688.
- Fearnside, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28, n. 01, 2011.
- Ferreira, L. V., E. Venticinque & S. S. de Almeida. 2005. O Desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados* 19(53): 1-10.
- FREITAS, C. M. Poluição química ambiental – um problema de todos, que afeta uns mais que os outros. Bahia análise de dados, Salvador: SEI, v.10, n.4, p. 260-270, 2001.
- Gaffin, S. R., & O'Neill, B. C. (1997). Population and global warming with and without CO₂ targets. *Population and Environment*, 18(4), 389-413.
- Gazolla, P. R., Guareschi, R. F., Perin, A., Pereira, M. G., & Rossi, C. Q. (2015). Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(2), 693-704.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). What drives tropical deforestation. *LUCC Report series*, 4, 116.
- Guedes, G. R., Queiroz, B. L., Barbieri, A. F., & VanWey, L. K. (2011). Ciclo de vida domiciliar, ciclo do lote e mudança no uso da terra na Amazônia brasileira: revisão crítica da literatura. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 28(1), 231-240.
- Gollnow, F., & Lakes, T. (2014). Policy change, land use, and agriculture: The case of soy production and cattle ranching in Brazil, 2001–2012. *Applied Geography*, 55, 203-211.
- Gürer, N., & Ban, J. (1997). Factors Affecting Energy-related CO₂ Emissions: Past Levels and Present Trends. *OPEC review*, 21(4), 309-350.
- Gutiérrez-Vélez, V. H., & DeFries, R. (2013). Annual multi-resolution detection of land cover conversion to oil palm in the Peruvian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 129, 154-167.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). *Multivariate Data Analysis*, 5th Edn Prentice Hall International. Upper Saddle River, NJ.
- Hardesty, J., Myers, R., & Fulks, W. (2005, January). Fire, ecosystems, and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. In *The George Wright Forum* (Vol. 22, No. 4, pp. 78-87). George Wright Society.
- Härdle, W. K., & Simar, L. (2015). Applications in finance. In *Applied Multivariate Statistical Analysis* (pp. 487-499). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American scientist*, 62(3), 282-292.
- Hubacek K, Feng KS, Chen B. Changing lifestyles towards a low carbon economy: An IPAT analysis for China. *Energies* 2012;5(1):22–31. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1498), 1779-1785.
- Human Development Atlas in Brazil: Rio de Janeiro, PNUD, IPEA, Fundação João Pinheiro (2013), [Available at] <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: ‘Censos Agropecuários 2017’, Rio de Janeiro (2017), < [IBGE | Censo Agro 2017 | Home](#)>.
- INPE: ‘PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite’ (2017), www.obt.inpe.br/prodes/.
- Jiao, W., & Chen, X. (2012). The characteristics of carbon emissions of Gansu Province from energy consumption and its scenario analysis based on IPAT identity. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 10, 032.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2014). *Applied multivariate statistical analysis* (Vol. 6). London, UK.: Pearson.
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200.
- Killeen, T. J. (2007). A perfect storm in the Amazon wilderness. *Adv. Appl. Biodivers. Sci*, 7, 102.
- Kirby, K. R., Laurance, W. F., Albernaz, A. K., Schroth, G., Fearnside, P. M., Bergen, S., ... & Da

- Costa, C. (2006). The future of deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures*, 38(4), 432-453.
- Laurance, W. F., Albernaz, A. K., Schroth, G., Fearnside, P. M., Bergen, S., Venticinque, E. M., & Da Costa, C. (2002). Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. *Journal of biogeography*, 29(5-6), 737-748.
- Laurance, W. F. (2007). Have we overstated the tropical biodiversity crisis?. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(2), 65-70.
- Longest, K. C., & Vaisey, S. (2008). Fuzzy: A program for performing qualitative comparative analyses (QCA) in Stata. *The Stata Journal*, 8(1), 79-104.
- Lovato, T. et al. 2004. "Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 175-187.
- MARENGO, J. A., & Dias, P. S. (2006). Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, 3, 63-109.
- Matos, P. F., & Pessoa, V. L. S. (2011). A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. *Geo Uerj*, 2(22), 290-322
- May, P., Barbosa, A., Azeredo, E., Costa, F., Ramos, F., Speranza, J., & Lanza, T. (2019). Políticas de crédito podem incentivar boas práticas na Amazônia Legal. *AgroANALYSIS*, 39(9), 25-26.
- Mingoti, S. A. (2007). Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada. In *Análise de dados através de métodos estatística multivariada: uma abordagem aplicada* (pp. 295-295).
- Miyamoto, N., Ogawa, H., & Shibuya, M. (1991). Distinguishing the effects of aromatic content and ignitability of fuels in diesel combustion and emissions. *SAE transactions*, 930-936.
- Moran, E. F. (1993). Deforestation and land use in the Brazilian Amazon. *Human Ecology*, 21(1), 1-21.
- Nakićenović, N., Grübler, A., Inaba, A., Messner, S., Nilsson, S., Nishimura, Y., ... & Wilson, D. (1993). Long-term strategies for mitigating global warming. *Energy*, 18(5), 401.
- Nepstad, D. C., Stickler, C. M., Filho, B. S., & Merry, F. (2008). Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 363(1498), 1737-1746.
- Neves, K. A. L., Ximenes, T., Martinez, G. B., Morini, A. C., Minervino, A. H. H., & Vale, W. G. (2014). A pecuária na Amazônia: a busca por um modelo sustentável. *Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Nóbrega, R. S., Souza, E. P., & Galvêncio, J. D. (2008). Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. *Revista de Geografia*, 25(1), 6-20.
- Numata, I., Silva, S. S., Cochrane, M. A., & d'Oliveira, M. V. (2017). Fire and edge effects in a fragmented tropical forest landscape in the southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 401, 135-146.
- O'Neill, B.C., F.L. MacKellar, and W. Lutz, 2000: *Population and Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge. (In press).
- O'Neill, R. V. (2001). Is it time to bury the ecosystem concept?(with full military honors, of course!). *Ecology*, 82(12), 3275-3284.
- Ozcan, B., & Ulucak, R. (2021). An empirical investigation of nuclear energy consumption and carbon dioxide (CO₂) emission in India: Bridging IPAT and EKC hypotheses. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(6), 2056-2065.
- Parikh, J., & Gokarn, S. (1991). *Consumption patterns: the driving force of environmental stress* (No. 59).
- Parikh, J. (1994). North-South issues for climate change. *Economic and Political Weekly*, 2940-2943.
- Parikh, J., Panda, M., Ganesh-Kumar, A. and Singh, V., 2009. CO₂ emissions structure of Indian economy. *Energy*, 34(8), pp.1024-1031.
- Perz, S. G., Aramburú, C., & Bremner, J. (2005). Population, land use and deforestation in the Pan Amazon Basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú and Venezuela. *Environment, development and sustainability*, 7(1), 23-49.
- Pfaff, A. S. (1999). What drives deforestation in the Brazilian Amazon?: Evidence from satellite and

- socioeconomic data. *Journal of environmental economics and management*, 37(1), 26-43.
- Pichler, M., Bhan, M., & Gingrich, S. (2021). The social and ecological costs of reforestation. Territorialization and industrialization of land use accompany forest transitions in Southeast Asia. *Land Use Policy*, 101, 105180.
- Porto, M. F. (2007). *Uma ecologia política dos riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental*. SciELO-Editora FIOCRUZ.
- Prodes, I. N. P. E. (2018). Monitoramento da floresta Amazônica por satélite.
- Ragin, C. C., & Rihoux, B. (2004). Qualitative comparative analysis (QCA): State of the art and prospects. *Qualitative Methods*, 2(2), 3-13.
- Ragin, C.C.: Fuzzy-Set Social Science. University of Chicago Press, Chicago (2000)
- Ragin, C.C.: The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies. University of California Press, Berkeley (1987)
- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., & Oliveira, W. (2009). Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia*, 19(1), 41-66.
- Robertson, G. P., Paul, E. A., & Harwood, R. R. (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science*, 289(5486), 1922-1925.
- Rodrigues, E. L., Elmiro, M. A., Braga, F. D. A., Jacobi, C. M., & Rossi, R. D. (2015). Impacto de alterações no uso do solo na vazão da Bacia do Rio Pará, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 70-76.
- Romeiro, A.R., 1999. Meio ambiente e produção agropecuária na Amazônia. *Revista de economia e sociologia rural*.
- Rotmans, J., & De Vries, B. (1997). *Perspectives on global change* (p. 479).
- Rout UK, Vob A, Singh A, Fahl U, Blesl M, Gallachóir BPÓ. Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon. *Energy* 2011;36(1):1–11.
- Ru, X., Liu, Y., Su, L., & Chen, S. (2012). A study on evolution and driving forces of carbon dioxide emissions. *Journal of Sustainable Development*, 5(5), 111-120. Doi: 10.5539/jsd.v5n5p111
- Sacramento, J. A. A. S. D., Araújo, A. C. D. M., Escobar, M. E. O., Xavier, F. A. D. S., Cavalcante, A. C. R., & Oliveira, T. S. D. (2013). Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(3), 784-795.
- Schneider, C. Q., & Wagemann, C. (2010). Standards of good practice in qualitative comparative analysis (QCA) and fuzzy-sets. *Comparative sociology*, 9(3), 397-418.
- SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. <<http://seeg.eco.br/>>.
- Silva, T. P., Pontes, A. N., & Amorim, I. A. (2020). Alternativas ao uso do fogo na agricultura como forma de mitigar queimadas na Amazônia. *Research, Society and Development*, 9(8), e387985938-e387985938.
- Skånberg, K., & Svenfelt, Å. (2021). Expanding the IPAT identity to quantify backcasting sustainability scenarios. *Futures & Foresight Science*, e116.
- Skole, D., & Tucker, C. (1993). Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *science*, 260(5116), 1905-1910.
- Shen, L., Huang, Y., Huang, Z., Lou, Y., Ye, G., & Wong, S. W. (2018). Improved coupling analysis on the coordination between socio-economy and carbon emission. *Ecological Indicators*, 94, 357-366.
- Soule PT, Dehart JL. Assessing IPAT using production-and consumption-based measures of I: Research on the environment. *Soc Sci Quart* 1998;79(4):754–65.
- Tyukavina, A., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Stehman, S. V., Smith-Rodriguez, K., Okpa, C., & Aguilar, R. (2017). Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013. *Science advances*, 3(4), e1601047.
- VanWey, L. K., D'Antona, Á. O., & Brondízio, E. S. (2007). Household demographic change and land use/land cover change in the Brazilian Amazon. *Population and Environment*, 28(3), 163-185.

- Vedovato, L. B., Fonseca, M. G., Arai, E., Anderson, L. O., & Aragao, L. E. (2016). The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Regional environmental change*, 16(8), 2485-2490.
- Waggoner PE, Ausubel JH. A framework for sustainability science: a renovated IPAT identity. *PNAS* 2002;99(12):7860–85.
- Wang K, Wang C, Lu XD, Chen JN. Scenario analysis on CO₂ emissions reduction potential in China's iron and steel industry. *Energy Policy* 2007;35(4):2320–35.
- Wisner, B., Gaillard, J. C., & Kelman, I. (2011). Theories and stories seeking to understand hazards, vulnerability and risk.
- Yue, T., Long, R., Chen, H., & Zhao, X. (2013). The optimal CO₂ emissions reduction path in Jiangsu province: an expanded IPAT approach. *Applied Energy*, 112(December), 1510-1517. doi:10.1016/j.apenergy.2013.02.04
- Zha DL, Zhou DQ, Zhou P. Driving forces of residential CO₂ emissions in urban and rural China: An index decomposition analysis. *Energy policy* 2010;38(7):3377–83.
- Zimov, S. A., Davydov, S. P., Zimova, G. M., Davydova, A. I., Schuur, E. A. G., Dutta, K., & Chapin III, F. S. (2006). Permafrost carbon: Stock and decomposability of a globally significant carbon pool. *Geophysical Research Letters*, 33(20).
- Wood, C. H., & Skole, D. (1998). Linking satellite, census, and survey data to study deforestation in the Brazilian Amazon. *People and pixels: Linking remote sensing and social science*, 37.